Seri Eko-Arsitektur 1

Dasar-dasar eko-arsitektur

Konsep arsitektur berwawasan lingkungan serta kualitas konstruksi dan bahan bangunan untuk rumah sehat dan dampaknya atas kesehatan manusia

Heinz Frick
FX. Bambang Suskiyatno

Seri Eko-Arsitektur 1

Dasar-dasar eko-arsitektur

Konsep arsitektur berwawasan lingkungan serta kualitas konstruksi dan bahan bangunan untuk rumah sehat dan dampaknya atas kesehatan manusia

Heinz Frick
FX. Bambang Suskiyatno

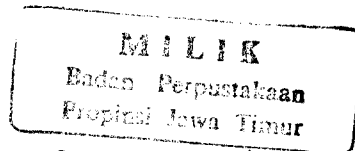
PENERBIT KANISIUS SOEGIJAPRANATA UNIVERSITY PRESS

Dasar-dasar eko-arsitektur
028073

PENERBIT KANISIUS (Anggota IKAPI)
Jl. Cempaka 9, Deresan, Yogyakarta 55281
Kotak Pos 1125/Yk, Yogyakarta 55011
Telepon (0274) 588783, 565996, Fax (0274) 563349
Website: www.kanisiusmedia.com
E-mail : office@kanisiusmedia.com

SOEGIJAPRANATA UNIVERSITY PRESS
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1, Bendan Dhuwur, Semarang 50234
Telepon (024) 316142 - 441555 (Hunting), Fax. (024) 415429
E-Mail: unika@semarang.wasantara.net.id.
Kotak Pos 8033/SM, Semarang 50232

Cetakan ke- 7 6 5 4 3

Tahun 06 05 04 03 02

ISBN 979-672-127-9

Dicetak oleh Percetakan Kanisius, Yogyakarta

Prakata

Eko-arsitektur adalah dimensi ekologis dalam arsitektur yang penuh perhatian kepada lingkungan alam dan sumber alam yang terbatas. Kelangsungan hidup lingkungan alam sangat terancam karena kita – sebagai akibat perkembangan industri – merusak hubungan-hubungan kebersatuan alam. Kita berada dalam bahaya mencabut dasar kehidupan sendiri karena kita kurang memperhatikan akibatnya atas tindakan kita terhadap lingkungan alam yang kompleks.

Ada dua arus yang mempengaruhi kehidupan manusia: teknik dan alam. Teknik timbul di mana ada kekurangan. Teknik selalu merupakan alat bantu yang dengan cepat dapat diterapkan kalau proses biologis dirasakan terlalu lamban. Akan tetapi, penerapan teknik menimbulkan akibat-akibat sampingan, baik yang biologis, psikologis maupun yang ekologis. Dampak inilah yang merupakan imbalan dari kelebihan teknik yang dangkal dan berjangka pendek. Siapa yang menggunakan teknik dengan energi yang tidak dapat diperbarui menimbulkan pencemaran dan perusakan semua peredaran kehidupan.

Manusia merupakan bagian dari lingkungannya. Tahun-tahun belakangan ini, kita membebani dan mencemari lingkungan alam kita dengan perampasan dan kesewenang-wenangan. Kita lupa bahwa pada suatu saat kelak kita atau anak-anak kita harus menanggung akibatnya.

Buku dasar-dasar eko-arsitektur ini menerangkan prinsip arsitektur yang ekologis secara keseluruhan. Buku pegangan ini membicarakan perencanaan dan pembangunan rumah yang seimbang dengan alam, yang menyembuhkan badan manusia dan memberi tempat perlindungan bagi jiwa manusia sehingga kita bisa hidup dalam keselarasan dengan lingkungan alam.

Semoga buku seri eko-arsitektur pertama ini mendorong banyak arsitek dan perencana untuk memperhatikan dan melestarikan lingkungan alam juga di bidang pembangunan sehingga bayangan masyarakat terhadap arsitek dan *developer* sebagai pembunuh alam dapat diperbaiki.

Ada tanggapan yang sering muncul, yaitu bahwa eko-arsitektur seperti juga arsitektur tradisional merupakan hambatan untuk arsitektur masa

kini dan hambatan tersebut harus dihancurkan. Tanggapan ini sebenarnya salah karena baik lingkungan alam maupun arsitektur tradisonal memberi teladan bagaimana kegiatan membangun dapat diintegrasikan dalam arsitektur masa kini. Teladan ini tidak dapat dianggap membebek saja seperti arsitektur Barat yang muncul sebagai tiruan di kota-kota Indonesia, tetapi kita dapat mempelajari proses perkembangannya.

Kepada semua saja yang telah membantu kami dalam penyelesaian buku ini secara material maupun imaterial, kami mengucapkan terima kasih, terutama kepada Ali Sunarko yang menyediakan hampir semua gambar dalam buku ini, Ir. Koestomo Andreas Corsini MSL, selaku dosen ilmu lingkungan dan eko-desain yang telah memberikan nasihat dalam penyusunan buku ini, serta staf pengajar Universitas Katolik Soegijapranata dan kepada banyak orang lain yang tidak dapat kami sebut satu per satu di sini.

Kami menantikan saran dan usul untuk perbaikan yang pasti akan muncul setelah penggunaan buku baru ini dengan senang hati dan dengan tangan terbuka, baik yang dikirim kepada Penerbit Kanisius Yogyakarta atau Soegijapranata University Press maupun langsung kepada pengarang di Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Terbitan pertama ini dimungkinkan oleh subsidi yang kami terima dari Liechtenstein Development Service, Vaduz, Kerajaan Liechtenstein.

Semarang, Juni 1997

Dr. Ir. Heinz Frick, arsitek SIA
Ir. FX. Bambang Suskiyatno

Daftar Isi

1. Pengantar ekologi dan eko-arsitektur

1.1 Dasar-dasar ekologi[1]

Ekologi biasanya dimengerti sebagai hal-hal yang saling mempengaruhi: segala jenis makhluk hidup (tumbuhan, binatang, manusia) dan lingkungannya (cahaya, suhu, curah hujan, kelembapan, topografi, dsb.). Demikian juga proses kelahiran, kehidupan, pergantian generasi, dan kematian yang semuanya menjadi bagian dari pengetahuan manusia. Proses itu berlangsung terus dan dinamakan sebagai 'hukum alam'.

Istilah 'ekologi'

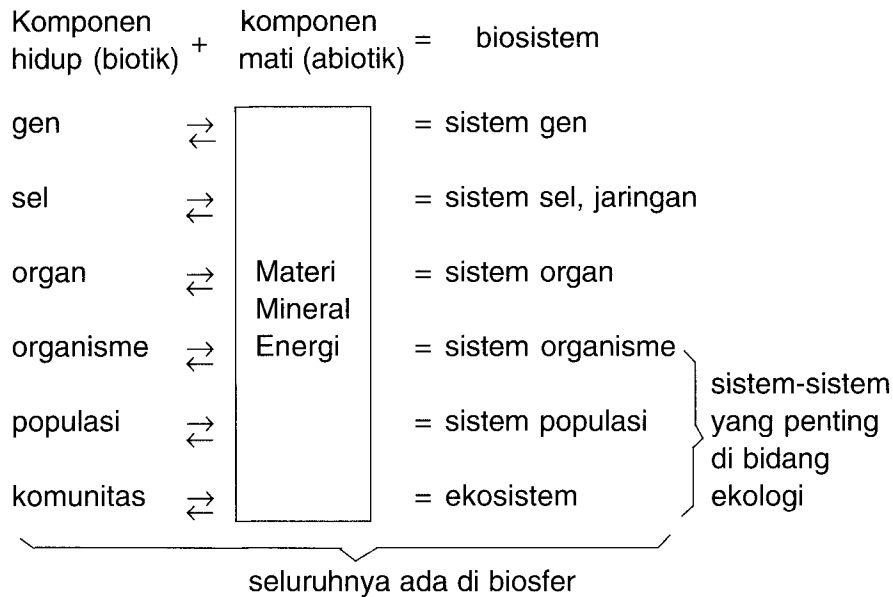
Istilah 'ekologi' pertama kali diperkenalkan oleh Ernst Haeckel, ahli ilmu hewan pada tahun 1869 sebagai ilmu interaksi antara segala jenis makhluk hidup dan lingkungannya. Arti kata bahasa Yunani *oikos* adalah rumah tangga atau cara bertempat tinggal, dan *logos* bersifat ilmu atau ilmiah. Jadi, ekologi berarti ilmu tentang rumah atau tempat tinggal makhluk hidup.

Ekologi dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan lingkungannya.

Persoalan tentang wawasan lingkungan pada masa kini memperkembangkan rasa tanggung jawab terhadap lingkungan dan mendorong kedudukan ekologi dari segi akademis menjadi perhatian umum. Hal ini mengakibatkan ekologi di samping menjadi bidang keilmuan juga ilmu lingkungan yang mengandung pengetahuan dan pengalaman kebutuhan masyarakat di bidang ekonomi dan politik.

Tingkatan organisasi makhluk hidup

Makhluk hidup atau organisme (segala jenis makhluk hidup seperti tumbuhan, binatang, dan manusia) memiliki tingkat organisasi dari yang paling sederhana sampai tingkat organisasi yang paling kompleks. Bila kita urutkan dalam pemahaman ekologi, akan terlihat suatu golongan organisasi biologi yang disebut biosistem sebagai berikut.

1 Bab ini berdasarkan Ackermann, Guido. *Ökologie*. naskah kuliah, Vaduz: LIS, 1991.

Seperti terlihat pada skema di atas[2], dalam lingkungan fisis materi (komponen biotik) dan energi (komponen abiotik) saling mempengaruhi biosistem yang disusun secara hierarkis.

Pengertian istilah-istilah pada skema tersebut di atas

gen — unsur sel plasma yang mengendalikan penerusan ciri-ciri keturunan;

sel — bagian terkecil dari organisme yang terdiri atas inti dan protoplasma yang terkandung dalam selaput sel;

organ — alat tubuh yang mempunyai tugas tertentu seperti misalnya hati atau telinga pada manusia, daun atau akar pada tumbuhan;

organisme — suatu benda hidup, jasad hidup, atau makhluk hidup;

populasi — sekumpulan makhluk hidup dari jenis yang sama dan terjadi bersama-sama pada suatu tempat dan waktu;

komunitas — kumpulan populasi yang menempati suatu daerah tertentu;

2 Gambar bdk. Eugene P. Odum, *Basic Ecology*, New York, London 1983; dan: Eugene P. Odum, *Dasar-dasar ekologi*, edisi ke-3, Yogyakarta 1994.

sistem gen — kerja sama antara gen-gen sehingga kelanjutan ciri-ciri keturunan dapat diwariskan bersama-sama secara utuh (DNS-kode = zat asam Desoxyribonuklik);

jaringan — kumpulan sel yang memiliki bentuk dan tugas yang sama, misalnya jaringan otot;

sistem organ — kerja sama secara harmonis di antara struktur dan fungsi, misalnya kerja sama antara mata dan telinga pada tubuh manusia atau antara daun dan akar pada tumbuhan;

sistem organisme — adalah kumpulan beberapa makhluk hidup, misalnya keluarga yang kerja sama;

sistem populasi — adalah populasi sejenis yang menempati suatu daerah tertentu, misalnya suku dan sebagainya;

ekosistem — berarti semua sistem yang dalam hierarki lebih tinggi daripada organisme. Oleh karena setiap sistem mengandung sistem sebelumnya (yang lebih sederhana), maka makin tinggi organisasi, makin rumit sistemnya;

biosfer — lapisan yang dapat digunakan sebagai tempat hidup bagi segala makhluk dan yang batasannya agak kabur ke arah litosfer (batu-batuan dan leburan magma di dalam bumi) dan ke arah atmosfer (udara) yang mengelilingi bumi dan memungkinkan penggunaan energi surya sebagai tenaga penggerak pada proses-proses biologis.

Pengertian ekologi

Dasar-dasar sebuah ekosistem adalah komunitas (biosonos) dan kawasan alam (biotop). Istilah 'ekosistem' mengandung lebih dari sekadar jumlah unsur-unsur hayati (komponen biotik) dan unsur-unsur non-hayati (komponen abiotik). Suatu ekosistem juga terdiri dari hubungan-hubungan timbal balik di dalam komunitas dan di antara organisme dengan lingkungan abiotik. Hasilnya adalah sistem ini berfungsi hampir otonom. Walaupun proses-proses tersebut sangat dinamis, suatu ekosistem bisa melaksanakan suatu kestabilan/keseimbangan tertentu.

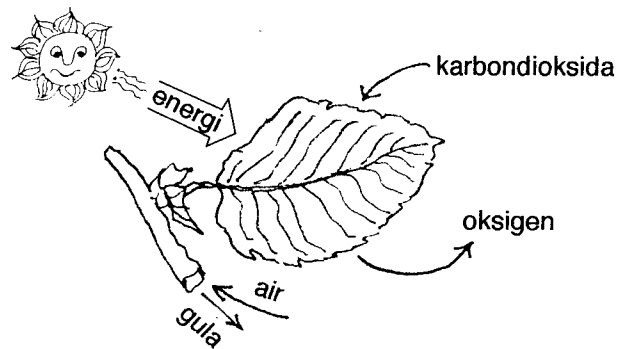
Seperti telah kita pelajari, suatu ekosistem merupakan benda nyata yang mempunyai ukuran yang beraneka, bergantung pada tingkat

organisasinya. Suatu ekosistem biasanya terdiri dari empat komponen dasar, seperti berikut:

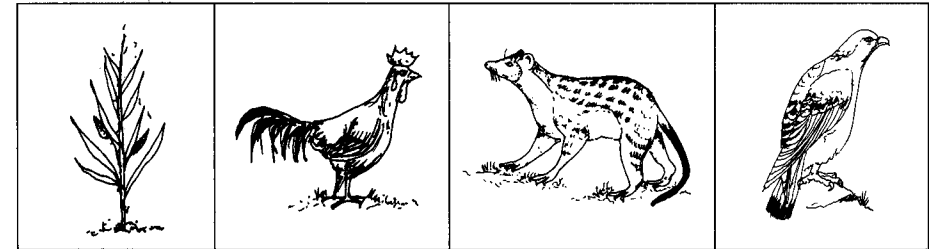
- lingkungan abiotik;
- organisme produsen;
- organisme konsumen; dan
- organisme perombak.

Lingkungan atau faktor abiotik terdiri atas

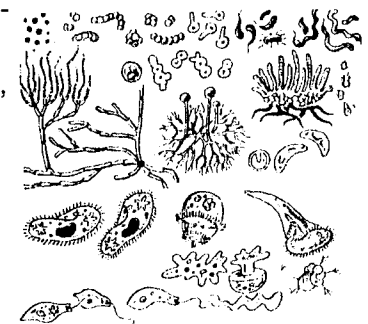
- tanah yang mengandung sifat fisik seperti tekstur, kematangan, porositas, kapasitas menahan air, dsb. dan mengandung sifat kimia seperti nilai pH (*protentia hygrogenii* = konsentrasi ion hidrogen), kandungan dan jenis unsur hara (materi);
- faktor iklim yang mengandung energi, suhu, kelembapan, angin, dan kandungan gas/partikel;
- faktor air seperti kejernihan, nilai pH, kandungan unsur.

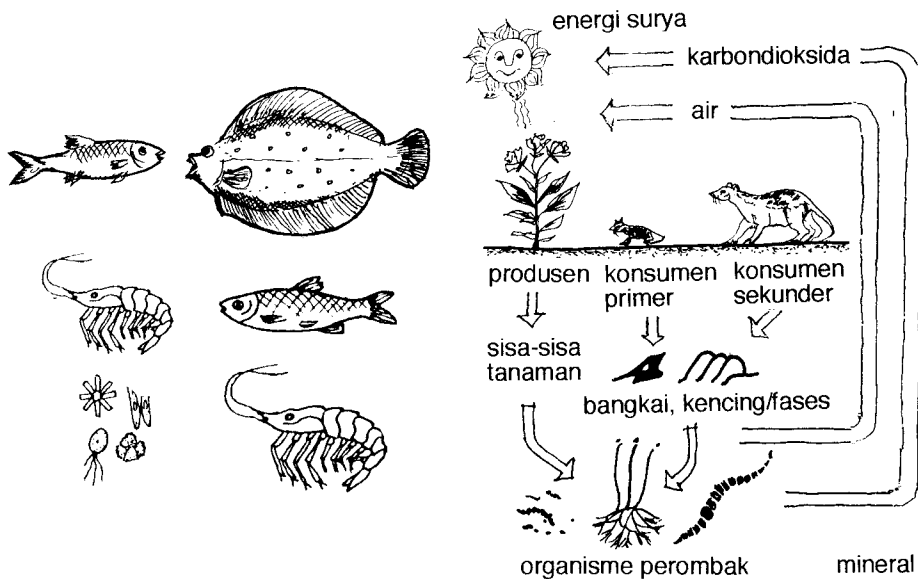
Organisme produsen, sebagai organisme autrofik, umumnya menumbuhkan klorofil yang membentuk bahan organik dengan menggunakan energi surya dan bahan anorganik yang sederhana. Organisme produsen tersebut adalah tumbuh-tumbuhan yang hijau atau bakteri-bakteri (fotosintesis).

Fotosintesis: Karbondioksida + air (ditambah energi surya dan klorofil) = gula atau karbohidrat + oksigen

Organisme konsumen tidak mampu membentuk bahan organik dengan menggunakan energi surya dan bahan anorganik saja; mereka hidup secara langsung atau tidak langsung dari produsen. Menurut cara pencarian bahan makanan, organisme konsumen dibagi atas

- konsumen primer (*herbivora*), yaitu pemakan tumbuhan (sapi, ayam);
- konsumen sekunder (*karnivora*), yaitu pemakan konsumen primer (musang);
- konsumen tersier (*omnivora*) dan seterusnya, yaitu pemakan konsumen primer dan sekunder (harimau, elang, dan ... manusia).

Tanaman (produsen) — Ayam (konsumen primer) — Musang (konsumen sekunder) — Elang (konsumen tersier)

Organisme perombak merupakan mikro-organisme yang terdiri atas bakteria dan jamur. Organisme perombak terdapat dalam jumlah besar sekali, jutaan individu per gram endapan lumpur.

Organisme perombak makan bangkai tumbuhan dan binatang serta kencing/ fasesnya. Bila suhu dan kelembapannya cocok, maka penguraian atau dekomposisi berjalan semakin cepat sehingga tumbuhan yang telah mati segera terurai atau dibusukkan dengan cepat pula.

Bahan makanan (karbohidrat dll.) + oksigen = energi + air + karbondioksida

Rantai pangan

Dari gambar rantai pangan ini terlihat secara ringkas dan sederhana bagaimana jaringan kehidupan berlangsung melalui materi dan transformasi energi. Energi surya hanya dapat diubah ke dalam bentuk kehidupan oleh tumbuhan berdaun hijau (produsen yang mampu menumpang hidup sendiri). Makhluk hidup lainnya adalah produsen primer (*herbivora*), sekunder (*karnivora*), dan tersier (*omnivora*).

Pengertian ekosistem

Suatu ekosistem meliputi makhluk hidup dengan lingkungan organisme (komunitas biotik) dan lingkungan abiotik, masing-masing mempengaruhi sifat-sifat lainnya dan keduanya perlu untuk memelihara kehidupan sehingga terjadi keseimbangan, keselarasan, dan keserasian alam di bumi ini. Dalam hal ini fungsi utama ekosistem di bumi memiliki penekanan pada hubungan wajib, ketergantungan, dan hubungan sebab akibat, yang merupakan rangkaian komponen-komponen untuk membentuk satuan-satuan fungsional.

Dengan konsep ekosistem, komponen-komponen lingkungan hidup harus dilihat secara terpadu sebagai komponen yang berkaitan dan tergantung satu sama lain dalam suatu sistem. Cara inilah yang dimaksud dengan pendekatan ekosistem atau pendekatan holistik. Ekosistem

dapat dipahami dan dipelajari dalam pelbagai ukuran, apakah itu sebuah kolam, danau, atau sebidang kebun, hutan, atau lansekap. Bahkan, sebuah laboratoriumpun merupakan satuan ekosistem yang dapat diamati. Selama komponen-komponen pokok ada dan berinteraksi membentuk kerja sama untuk mencapai suatu kemantapan fungsional, kesatuan tersebut dapat dianggap sebagai suatu ekosistem, walaupun hanya dalam waktu singkat.

Perbedaan ekosistem yang satu dengan yang lain dapat ditentukan oleh[3]

- jumlah jenis organisme produsen;
- jumlah jenis organisme konsumen;
- jumlah keanekaragaman mikroorganisme;
- jumlah dan macam komponen abiotik;
- kompleksitas interaksi antarkomponen; dan
- berbagai proses yang berjalan dalam ekosistem.

Pada ekosistem alam yang lengkap tidak dibutuhkan pemeliharaan atau subsidi energi karena dapat memelihara dan memenuhi sendiri, dan selalu berada dalam keseimbangan. Ekosistem ini agak mantap, tidak mudah terganggu, tidak mudah tercemar kecuali karena bencana alam. Seperti telah dikemukakan, batas ekosistem itu dapat ditinjau dari kelengkapan komponen yang ada. Berdasarkan habitat, ekosistem dapat dibagi atas

- ekosistem hutan pohon bakau/kayu api-api dan pantai;
- ekosistem sungai dan danau;
- ekosistem rawa gambut dan air tawar;
- ekosistem hutan dataran rendah dan tinggi; dan
- ekosistem gunung dan gua.

Komunitas[4]

Secara genetika, individu-individu adalah anggota suatu populasi setempat dan secara ekologi mereka adalah anggota ekosistem. Bagian terbesar ekosistem terdiri atas kumpulan tumbuhan dan binatang yang bersama-sama membentuk suatu masyarakat tumbuhan dan binatang yang disebut komunitas. Suatu komunitas terdiri atas banyak jenis

3 Soedjiran Resosoedarmo et al., *Pengantar Ekologi*, edisi ke-8, Bandung 1992, hlm. 10.

4 Bdk. Zoer'aini Djamal Irwan, *Ekosistem, komunitas dan lingkungan*, Jakarta 1992, hlm. 83-107.

dengan berbagai macam kegoncangan (fluktuasi) populasi yang saling mempengaruhi.

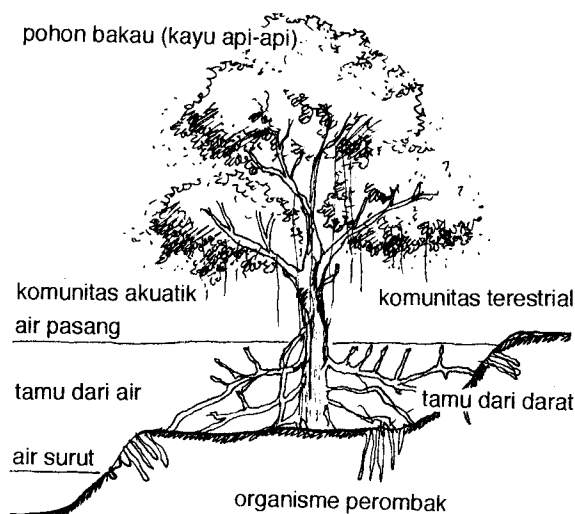
Suatu komunitas merupakan suatu organisme dengan jenis komposisi yang terbatas dan mempunyai sejumlah kehidupan.

Organisme dalam suatu komunitas saling berhubungan karena melalui proses-proses kehidupan yang saling berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Jika salah satu organisme itu tidak dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya, maka akan berakibat fatal bagi organisme sendiri. Misalnya tanah menjadi penting untuk tumbuhan-tumbuhan karena mengandung mineral dan air tempat tumbuhnya akar.

Kemudian, setiap jenis mempunyai toleransi yang berbeda pada lingkungannya. Komunitas yang menyatu satu sama lain merupakan suatu rangkaian vegetasi. Mempelajari komunitas dari sudut bentuk-bentuk kehidupan dapat membantu dalam pengertian fungsi organisme dalam suatu komunitas.

Di alam terdapat bermacam-macam komunitas yang secara garis besar dapat dibagi menjadi

- Komunitas akuatik
  Komunitas ini terdapat, misalnya, di laut, di sungai, di kolam, dan sebagainya.
- Komunitas terestrial
  Komunitas ini adalah sekelompok organisme yang terdapat di pekarangan, di padang rumput, di padang pasir, di halaman, di kebun raya, dan sebagainya.

Banyak komunitas dapat dikenal dengan mudah. Dalam komunitas yang berbeda, terdapat konsumen dan organisme perombak yang berbeda pula.

Kekayaan komunitas tertinggi ada di perbatasan antara komunitas akuatik dan terestrial misalnya pada hutan pohon bakau dan kayu api-api.

Dengan memperhatikan keanekaragaman dalam komunitas dapat diperoleh gambaran tentang kedewasaan organisasi komunitas itu.

Lama-kelamaan komunitas itu akan dikuasai oleh spesies yang dapat hidup unggul, stabil, dan mandiri di dalamnya. Proses semacam ini seluruhnya disebut 'suksesi,' sedangkan komunitas yang sudah mencapai kematangan disebut komunitas yang sudah mencapai puncak atau 'klimaks.'

Suksesi dan klimaks[5]

Lingkungan alam selalu mengalami perubahan-perubahan dalam ekosistem. Perubahan-perubahan atau pergantian-pergantian pada ekosistem tersebut terjadi tanpa ataupun dengan campur tangan manusia. Evolusi ekosistem ini disebut suksesi ekologi dan dapat diterangkan sebagai berikut:

- perkembangan komunitas teratur yang menyangkut perubahan susunan spesies dan proses-proses komunitas;
- perubahan-perubahan fisik akibat pengaruh pekerjaan komunitas;
- mencapai puncak (klimaks) pada waktu terjadi ekosistem stabil dengan biomassa dan fungsi kerja sama antarorganisme dan komunitas ada pada titik maksimum.

Suatu contoh misalnya lereng gunung berapi yang pada waktu tertentu meletus. Lereng tersebut akan tertutup seluruhnya dengan bahan-bahan vulkanik hasil letusan. Tidak ada tumbuhan yang tumbuh pada batuan yang masih baru karena mineral-mineral batuan yang dibutuhkan untuk hidup tumbuhan belum terurai.

Beberapa waktu kemudian mulai ada yang tumbuh, terjadilah habitat baru, karena batuan sudah mulai lapuk oleh cuaca. Debu-debu atau pelapukan dari batu-batuan tersebut menjadi lapisan bahan organik yang dapat ditumbuhi oleh tetumbuhan sederhana seperti 'lumut kerak' atau 'algae' yang disebut juga sebagai tumbuhan pionir.

5 Bdk. Zoer'aini Djamal Irwan, *op.cit.* hlm. 119-123; serta: Soedjiran Resosoedarmo et al., *op.cit.*, hlm. 59-74

Suksesi primer di Krakatau[6]

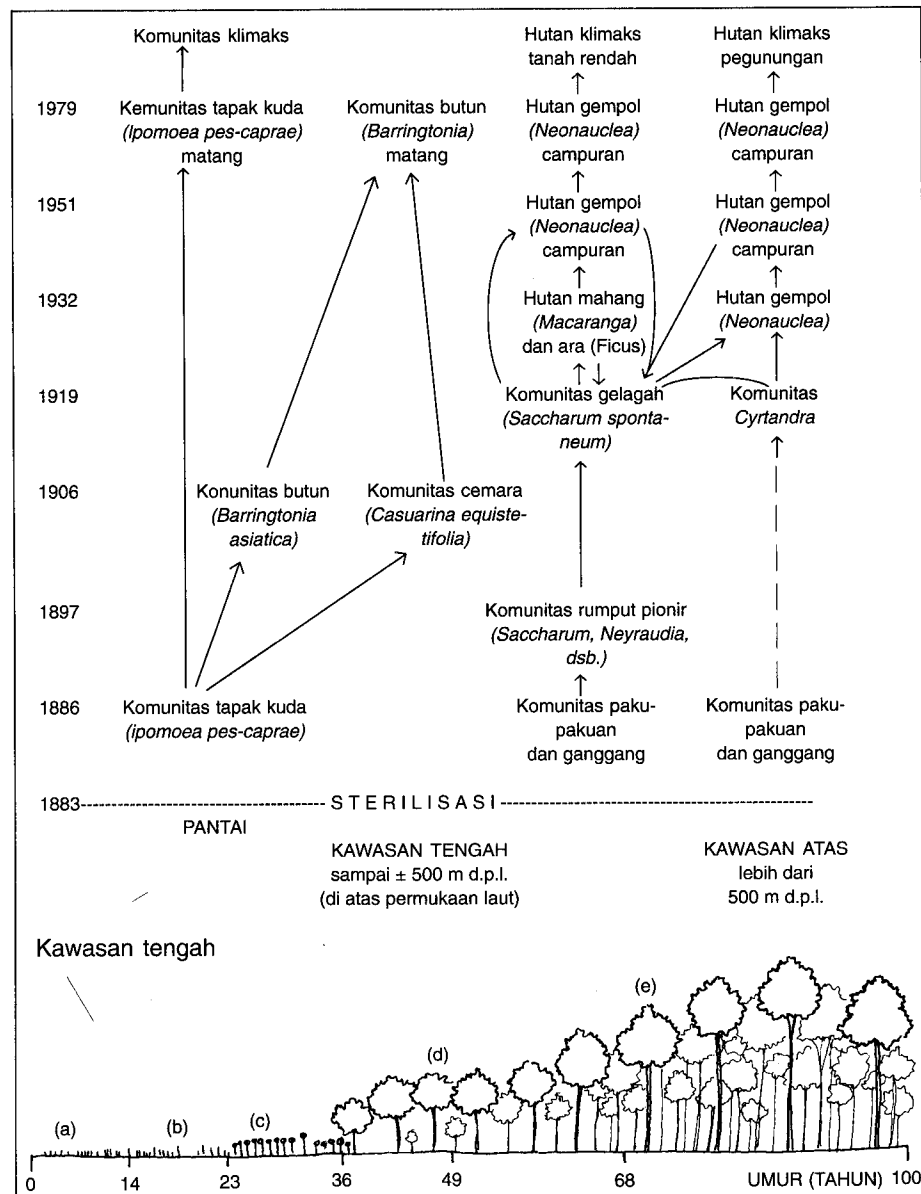



Diagram profil skematis suksesi primer di kawasan tengah Krakatau; a: komunitas paku-pakuan dan ganggang; b: komunitas rumput pionir; c: komunitas gelagah; d: hutan mahang dan ara; e: hutan gempol campuran

6 Zoer'aini Djamal Irwan. *op.cit.* hlm. 120, 122.

Bahan organik semakin tebal sehingga akhirnya ditumbuhi oleh bermacam-macam rumput dan sebagainya. Proses ini akan memerlukan waktu sampai 25 tahun dan dapat dinamakan sebagai *suksesi primer.*

Suksesi sekunder merupakan proses yang sama dengan yang terjadi pada suksesi primer. Perbedaannya adalah pada keadaan kerusakan ekosistem atau kondisi awal habitatnya. Ekosistem tersebut mengalami gangguan, tetapi tidak total, masih ada komunitas yang tersisa. Gangguan tersebut dapat disebabkan oleh kebakaran, kebanjiran, ataupun tangan manusia. Sebagai contohnya, suatu tegalan, padang alang-alang, semak bekas ladang, atau kebun yang ditinggal.

1.2 Aliran dalam ekosistem[7]

Organisme-organisme dan kemampuannya tergantung pada aliran energi dan zat-zat yang dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu untuk memproduksi materi organis. Energi surya terutama dibutuhkan untuk menjalankan peredaran materi tersebut karena elemen-elemen vital dan alat bantu yang dapat digunakan oleh organisme-organisme pada ekosistem alam tidak tersebar seragam.

Aliran ini disebut daur, siklus, atau peredaran. Istilah ini berubah menurut buku-buku ekologi yang digunakan. Arti istilah-istilah tersebut dapat diperhatikan sebagai berikut.

Daur — peredaran masa atau tahun (istilah dari bahasa Jawa kuno). Dalam tarikh Jawa satu daur berisikan empat windu (windu adi, kuntera, sengara, dan sancaya), jadi 32 tahun Jawa. Juga ada daur besar, yang berarti per-edaran masa dengan lama 120 tahun Jawa.

Siklus — (bahasa Latin) putaran waktu yang di dalamnya terdapat rangkaian kejadian yang berulang-ulang secara tetap dan teratur (misalnya: periodik osilasi di bidang listrik atau bidang komputer).

Peredaran — peralihan dari keadaan yang satu ke keadaan yang lain yang berulang-ulang seakan-akan merupakan suatu lingkaran (istilah dari bahasa Melayu). Digunakan umumnya di

7 Bab ini berdasarkan: Ackermann, Guido. *op. cit.* dan: Klötzli, Frank. *Unsere Umwelt und wir.* Bern, Stuttgart 1980.

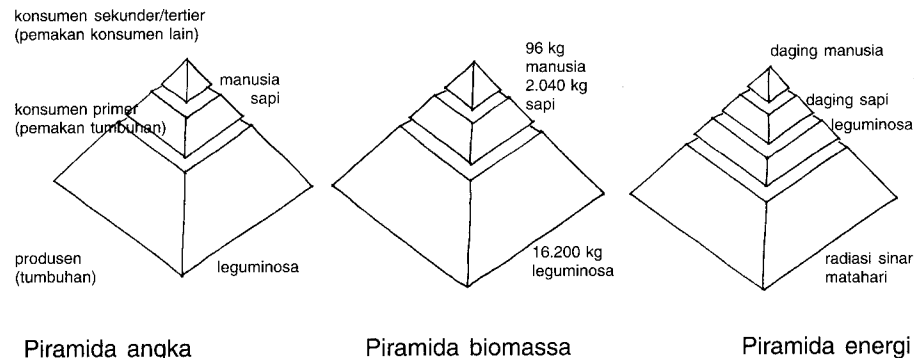
bidang kedokteran (peredaran darah) atau di bidang fenologi (peredaran musim).

Atas dasar keterangan ini selanjutnya digunakan istilah 'peredaran' yang dalam pahamnya cukup jelas dan tepat dibandingkan dengan istilah-istilah lain.

Sebenarnya, semua ekosistem dapat dimengerti sebagai peredaran alam (lihat misalnya rantai pangan pada halaman 6). Peredaran tersebut dapat juga dibayangkan sebagai piramida. Pada umumnya dapat dibedakan antara *piramida angka*, di mana pada beberapa bidang kebanyakan makhluk hidup disusun (walaupun cara ini tidak memperhatikan besarnya masing-masing makhluk).

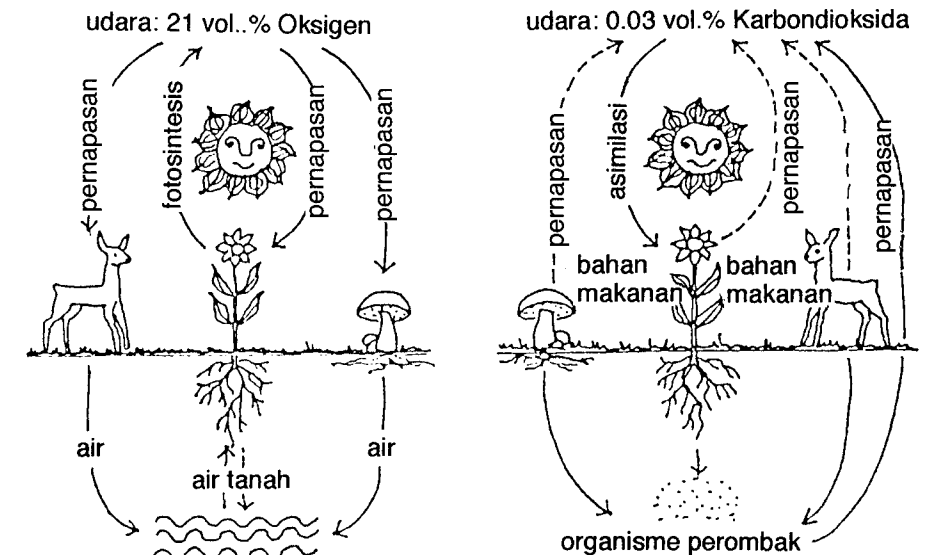
Lebih tepat adalah *piramida biomassa,* di mana pada setiap bidang disusun banyaknya organisme hidup sebagai beban kering.

Pada *piramida energi* diperhatikan juga pengaruh waktu. Pada setiap bidang disusun energi makhluk hidup masing-masing dalam kJ/m$^2\cdot$ a (kilojoule per m^2 dan tahun). Pada gambar ini dapat juga diperhatikan radiasi matahari.

Piramida angka | Piramida biomassa | Piramida energi

Peredaran bahan alam

Dengan memperhatikan hubungan pangan pada suatu jenis binatang terlihat bahwa di satu sisi merupakan bahan makanan dan pada sisi yang lain adalah musuhnya. Walaupun hubungan ini dapat dianggap sebagai hubungan linear, sebenarnya terjadi peredaran. Tidak semua tumbuhan atau binatang akan dimakan oleh musuhnya (konsumen),

tetapi banyak yang mati oleh akibat yang lain. Bahan ini akan 'dimakan' oleh organisme perombak yang akan menyediakan mineral-mineral yang dibutuhkan tumbuhan sebagai pupuk. Pada waktu yang sama tumbuhan membutuhkan karbondioksida dari udara dan menyediakan oksigen bagi binatang dan manusia.

Karena itu, peredaran oksigen melalui fotosintesis dan pernapasan sel berhubungan erat dengan peredaran karbon seperti terlihat pada gambar berikut.

Peredaran oksigen

Peredaran oksigen dan karbon berhubungan erat dalam biosfer. Dua peredaran ini saling-menalin pada suatu sistem tertentu. Semua oksigen dalam biosfer terdapat pada fotosintesis. Biosfer tersebut mengandung 21% vol. oksigen dan 0.03% vol. karbondioksida. Jumlah karbondioksida diperkirakan sebanyak 2100 milyar ($2.1 \cdot 10^{18}$) ton.

Peredaran karbon

Peredaran karbon dimulai dengan penambahan karbondioksida di udara melalui proses fotosintesis oleh tumbuhan menjadi karbohidrat. Sebagian dari karbohidrat ini dipakai oleh tumbuhan untuk memperoleh energi, sementara itu karbondioksida dilepas melalui daun dan akar. Sebagian karbohidrat dimakan konsumen yang bernapas dan melepaskan karbondioksida ke udara.

> **Tugas 1:**
>
> Menggambarkan salah satu peredaran, misalnya padi, pohon kelapa, batu merah, nyamuk, atau manusia.
>
> Mengontrol pada peredaran yang digambarkan apakah pada setiap tahap peredaran timbul bahan yang dipilih (misalnya padi dan sebagainya). Jika bahan yang dipilih hilang dalam peredaran, maka perlu diperbaiki sampai peredaran tersebut utuh dan tertutup.

Entropi[8]

Istilah entropi[9] diciptakan pada tahun 1865 oleh Rudolf Clausius dalam ilmu termodinamika untuk menggambarkan arah suatu proses yang tidak dapat memutarbalikkan.

Jika sepotong kayu hangus dengan api, maka berubah menjadi abu dan energi. Dengan api dan energi tersebut secara langsung tidak mungkin dapat diciptakan kayu lagi. Energi pembakaran memanaskan udara, berarti telah hilang. Hal yang sama terjadi bila es batu mencair, menjadi air. Energi pencair tersebut langsung hilang dan air tidak menjadi es batu lagi.

Pola pikiran kayu maupun es batu merupakan sistem tata tertib dalam tahapan tinggi dan keadaan entropinya rendah.[10] Sebaliknya, hasil pembakaran kayu atau pencairan es batu merupakan sistem tata tertib dalam tahapan rendah serta keadaan entropinya tinggi.

Contoh: Jika dimasukkan 10 kelereng putih ke dalam sudut kiri sebuah kotak dan 10 kelereng hitam ke dalam sudut kanan, maka diciptakan

8 Bab Entropi ini berdasarkan: Welter, Adrien. *Entropie.* Dalam: Haefele, Gottfried/Oed, Wolfgang/Sambeth, Burkhard M. (ed). *Baustoffe und Oekologie.* Tübingen, Berlin. 1996. hlm. 25-33.

9 Entropi berdasarkan istilah *entrepein* (bahasa Yunani) dan berarti perubahan atau perkembangan.

10 Organinisme, ekosistem dan seluruh biosfir memiliki sifat termodinamika dasar untuk mampu menciptakan dan mempertahankan tata tertib dalam tahapan tinggi, atau keadaan entropi rendah (ukuran untuk kekacauan atau jumlah energi yang tidak tersedia di dalam sistem). Entropi rendah dicapai oleh penghancuran energi yang terus-menerus dari penggunaan tinggi (sinar atau makanan, misalnya) ke energi dari penggunaan rendah (panas, misalnya). Lihat: Odum, Eugene P. *Dasar-dasar ekologi.* edisi ke-3. Yogyakarta. 1995 (?). hlm. 46.

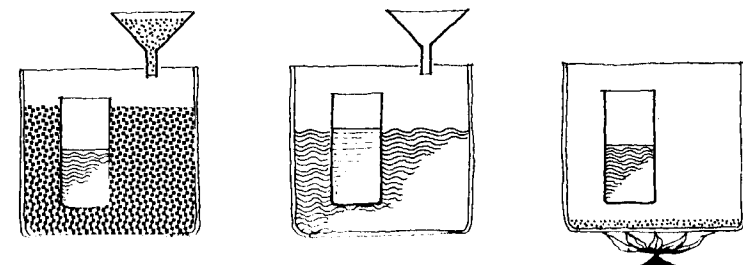
sistem tata tertib dalam tahapan tinggi dan keadaan entropinya rendah. Kalau sekarang kotak tersebut diguncangkan, maka kelereng hitam dan putih menyebar tercampur dan sistem tata tertib berada dalam tahapan rendah serta keadaan entropinya tinggi. Walaupun kotak tersebut kemudian diguncangkan lama sekali, keadaan dengan semua kelereng putih pada sisi kiri dan yang hitam pada sisi kanan tidak dapat tercapai lagi.

Andaikata percobaan ini dilakukan dengan satu kelereng putih dan satu kelereng hitam saja, maka kemungkinan bahwa keadaan semula dapat dicapai menjadi jauh lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dengan 20 kelereng menjadikan entropinya tinggi dan sistem dengan dua kelereng saja menjadikan entropinya rendah.

Karena pengertian entropi ini dapat dimanfaatkan pada segala sistem yang bagiannya dapat didefinisi tepat, maka entropi adalah peralatan yang memungkinkan penilaian bahan bangunan terhadap dampak lingkungan.

Hampir setiap bahan bangunan yang digunakan mengalami perubahan (transformasi) sebelumnya (misalnya tanah liat menjadi batu merah dsb.). Perubahan tersebut juga mengubah entropinya seperti akan diterangkan pada contoh dengan es, minyak, dan garam berikut.

Contoh:

1. Di dalam suatu panci dengan isi es batu berada suatu gelas yang berisi minyak. Tutup panci tersebut mengadakan lubang dari mana garam merintik-rintik di atas es batu. Apa yang terjadi kemudian? Es batu merupakan sistem tata tertib dalam tahapan tinggi dan keadaan entropinya pada suhu 0°C paling rendah.
2. Pencairan es batu membutuhkan energi, yang sebagian terambil dari minyak. Oleh karena itu minyak menjadi gemuk.

Gemuk merupakan sistem tata tertib dalam tahapan lebih tinggi (daripada minyak yang merupakan sistem tata tertib dalam tahapan rendah) dan keadaan entropinya menurun, sedangkan keadaan entropi es batu yang sedang mencair akan naik. Oleh karena energi pencairan telah hilang, sistem tersebut tidak dapat memutarbalikkan.

3. Dalam contoh ini energi tersebut diambil dari luar (suhu alam atau kompor). Sekarang gemuk tersebut mencair kembali, menjadi minyak, sedangkan air menguap dan garam mengendap. Minyak dan uap air merupakan sistem tata tertib dalam tahapan lebih rendah dengan keadaan entropinya yang meningkat, sedangkan keadaan entropi garam menurun.

Entropi sebagai nilai ekologis bahan bangunan

Keadaan entropi dapat dimanfaatkan sebagai ukuran untuk mempertimbangkan nilai ekologis bahan bangunan. Sebagai titik awal dalam pertimbangan perubahan entropi maka perlu diketahui kapan dan dimana bahan yang diperhatikan itu terjadinya, sehingga dapat ditentukan keadaan entropi paling rendah (= 0).

Bentuk tumbuh-tumbuhan berdasarkan arah entropi surya, sedangkan bentuk batu berdasarkan entropi letusan purba yang sekaligus dan tidak dapat diulang lagi. Menurut pengertian entropi tersebut, terdapat dua patokan untuk mempertimbangkan berhubungan dengan bahan bangunan sebagai berikut:

- Bahan bangunan harus berdasarkan arah entropi surya
- Perubahan (transformasi) yang dialami oleh suatu bahan bangunan tidak boleh mendahului pembaharuan/pertumbuhan kembali oleh alam

Sebagai keterangan dapat dibayangkan bahwa minyak bumi yang digunakan oleh manusia per hari membutuhkan 1 juta tahun untuk diperbaharui. Memperhatikan keseimbangan arah entropi maka seharusnya digunakan 365'000'000 × kurang minyak tanah per hari. Jika ketentuan ini tidak diperhatikan, maka keadaan arah entropi bumi meningkat.

Berdasarkan ketentuan tersebut terdapatlah patokan ketiga untuk mempertimbangkan perubahan (transformasi) bahan bangunan sebagai berikut:

- Bahan bangunan tidak boleh mengalami perubahan (transformasi) yang mempengaruhi keseimbangan keadaan entropi.

Setiap penggunaan bahan bangunan seharusnya memenuhi ketiga ketentuan (persyaratan) tersebut di atas.

1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur

Kualitas arsitektur dan tugas si arsitek

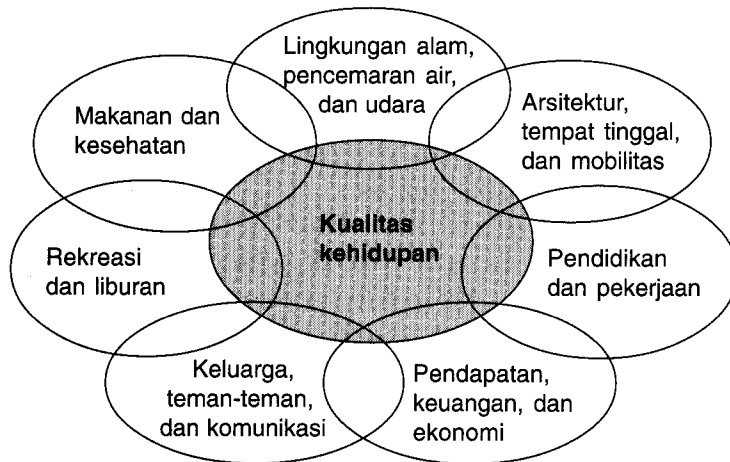
> *Batu, kayu dan semen, dengan bahan tersebut akan dibuat rumah dan istana, semuanya adalah persoalan konstruksi. Penemuan yang berdaya cipta terwujud. Tiba-tiba hasilnya dapat menyentuh hati saya, saya merasa senang dan puas, saya berbahagia dan saya berkata: 'Inilah yang indah, inilah seni bangunan, inilah kesenian'.*[11]

Arsitektur atau eko-arsitektur lebih indah, lebih tepat guna daripada gedung-gedung biasa; yang menonjol adalah arsitektur yang berkualitas tinggi. Kualitas biasanya sulit diukur dan ditentukan, terlebih lagi dari bidang arsitektur. Di mana garis batas antara arsitektur yang bermutu tinggi (berkualitas) dan arsitektur biasa saja, dan di mana alat ukurnya? Christopher Alexander berbicara tentang kualitas tanpa nama:

> *There is a central quality which is the root criterion of life and spirit in a man, a town, a building, or a wilderness. This quality is objective and precise, but it cannot be named.*[12]

Pembahasan kualitas di bidang arsitektur biasanya hanya memperhatikan bentuk gedung dan konstruksinya, tetapi mengabaikan tokoh utama: si pengguna arsitektur tersebut dan kualitas hidupnya.

11 Le Corbusier. 1922 – *Ausblick auf eine Architektur. Bauwelt Fundamente* 2. Braunschweig. Wiesbaden 1982. hlm. 119.

12 Alexander, Christopher *The Timeless Way of Building*. New York 1979. hlm. ix.

Gambar pembahasan kualitas kehidupan dan masing-masing pengaruhnya

Apakah pengguna tersebut merasa tertarik pada arsitektur rumahnya adalah persoalan pengguna sendiri. Dan jika pengguna tidak merasa senang dengan kualitas arsitektur, bisa jadi karena pendidikannya kurang baik atau kemampuan mengkaji maksud pencipta (arsitek) dan merealisasikan cita-cita tentang dirinya sendiri kurang. Dengan menambah kekhususan dalam gaya 'seni arsitektur' dan perkembangan dalam teknologi bangunan maka landasan bersama antara pengguna dan pencipta menjadi tercerai-beraikan.

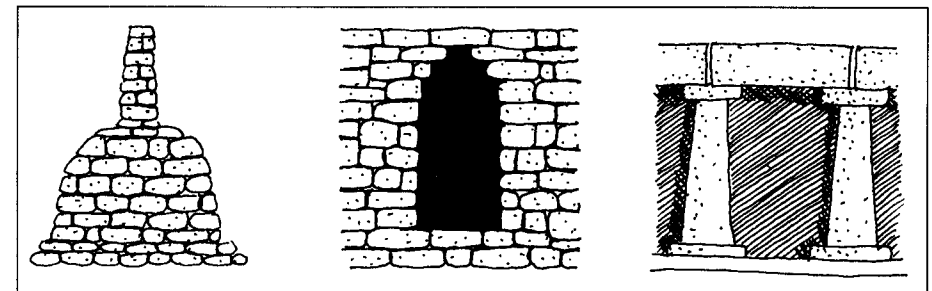
Kepentingan landasan bersama antara pencipta dan pengguna adalah tuntutan utama pada eko-arsitektur.

Karena semua benda dan makhluk serta air, udara, atau cahaya dan warna adalah hasil getaran atau ayunan tertentu oleh molekul masing-masing bahan, maka 'pengalaman dan pengetahuan' molekul masing-masing memberi bentuk pada benda dan makhluk serta air, udara, dan sebagainya.[13] Hal ini berarti bahwa manusia pada umumnya tergantung dari sesama manusia. Setiap perubahan pada salah satu manusia atau pada bumi akan mempengaruhi jutaan manusia yang lain.

Ribuan tahun lamanya pembangunan dilaksanakan oleh penghuni sesuai dengan kemampuan teknologinya. Bantuan untuk membangun didapatkan dari masyarakat setempat atas dasar keahlian anggota masing-masing. Dengan bertambahnya penduduk, maka kebutuhan

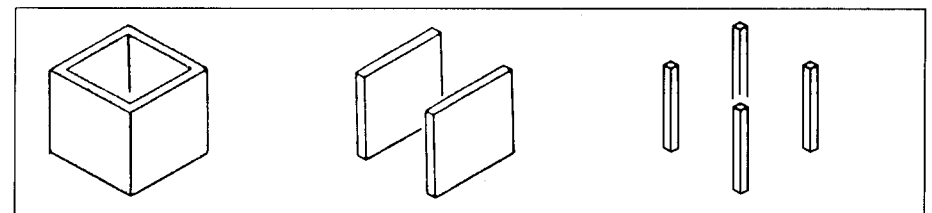
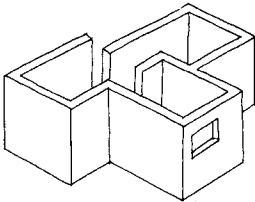
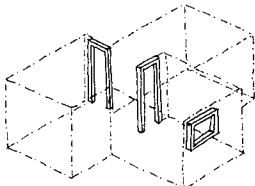
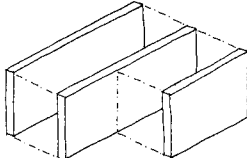
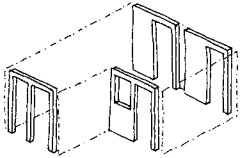
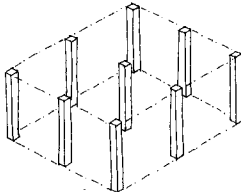
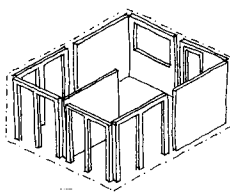
13 lihat juga bab. 6: Radiasi teristis, kosmis, dan teknis, halaman 132.

akan perumahan sendiri meningkat, begitu pula keahlian dan kemampuan para tukang meningkat juga. Kemudian, terjadilah pengkhususan atau spesialisasi, termasuk arsitek sebagai pencipta gedung, yang ada pada masa kini.

Pada permulaan kebutuhan 'arsitek' sebagai ahli bangunan (kalang, wastu, pakuya) hanya dibatasi pada bangunan monumental seperti istana raja, candi, mesjid, jembatan, dan sebagainya dan bukan untuk masyarakat biasa. Arsitektur monumental tersebut bersifat mengesankan dan tahan lama di samping memenuhi fungsinya. Struktur yang dipilih umumnya sangat sederhana, seperti terlihat pada gambar ini.

Struktur batuan masif dengan kesan utuh yang menggambarkan sebuah petunjuk

Lubang dinding dengan tata batu konsol di dua sisi yang menutup lubang dinding bagian atas

Kolom dan balok sebagai struktur rangka yang sederhana

Makin besar lubang pada dinding, makin banyak cahaya di dalam gedung, serta menghemat bahan bangunan. Struktur bangunan monumental tersebut makin lama makin membentuk ruang. Kemudian, arsitek mulai juga membangun pemukiman untuk rakyat biasa dengan memanfaatkan pengetahuan tersebut. Penggolongan struktur bangunan adalah sebagai berikut.[14]

Struktur bangunan masif

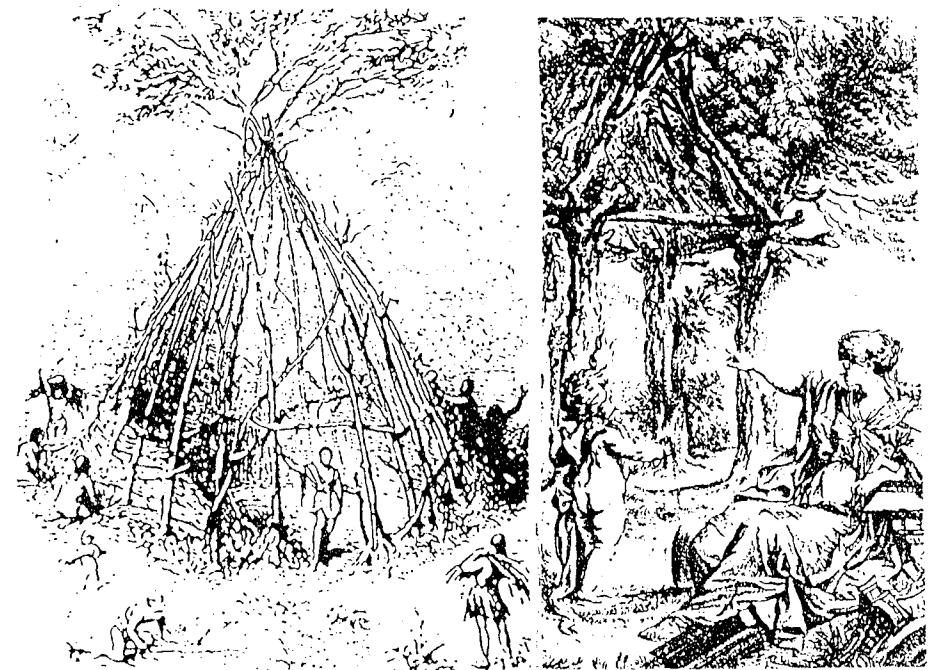
Struktur bangunan pelat dinding sejajar

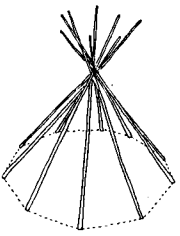
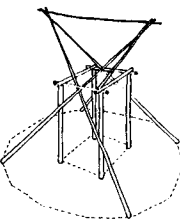
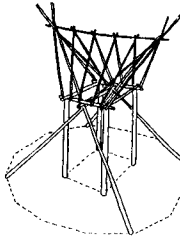
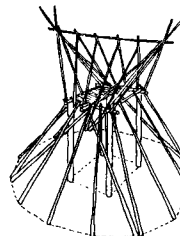
Struktur bangunan rangka

14 lihat: Ronner, H. Kontext 78: *Baustruktur*. edisi ke-2. ETH-Zürich 1986. hlm 8-13.

Dengan menggunakan pembagian atas pengetahuan dasar, struktur bangunan dasar, dan bagian kelengkapan bangunan/pembagi ruang:

Pengetahuan dasar:	Struktur bangunan dasar (yang menerima beban)	Bagian kelengkapan bangunan/pembagi ruang
Ilmu bentuk Tata ruang Fungsi ruang Mekanika teknik Dimensi struktur Fungsi struktur Ilmu konstruksi bangunan (pondasi, lantai, dinding, atap) Ilmu bahan bangunan (bahan alam, bahan buatan) Fisika bangunan Kimia bangunan Ekologi bangunan Kualitas struktur Kualitas lingkungan Kualitas arsitektur	*Struktur bangunan masif.* Ruang dibentuk oleh bagian bangunan yang menerima beban.	Bagian kelengkapan bangunan yang mengisi lubang dinding bangunan masif.
	Struktur bangunan pelat dinding sejajar. Hanya dinding yang berdiri searah saja menerima beban.	Bagian kelengkapan bangunan yang mengisi celah di antara dinding pada bangunan pelat dinding sejajar.
	Struktur bangunan rangka. Hanya tiang yang berdiri membentuk kisi-kisi yang menerima beban.	Bagian kelengkapan bangunan yang membentuk ruang antara tiang-tiang dari bangunan rangka.

Sejak masyarakat meninggalkan cara hidup berburu dan mengumpulkan makanan, berangsur-angsur mereka mulai membangun rumah. Bentuk gubuk mereka masih agak kecil, berbentuk kerucut dengan atap yang langsung menempel ke tanah dan dibuat dari daun-daunan. Gubuk tersebut sering dinamakan gubuk Adam.[15]

Gambar gubuk Adam berbentuk kerucut dengan tanduk bubungan yang bersifat mendua[16]

Seorang arsitek sedang menyelidiki bentuk gubuk alam sederhana untuk membangun rumah dari batu[17]

Untuk menggambarkan kembali gubuk kuno pada masa itu seharusnya kita membayangkan seorang dengan pengalaman teknik neolitik (penggunaan peralatan dari batu, sambungan kayu

15 menurut nama manusia laki-laki pertama yang dijadikan oleh Tuhan.

16 Rykwert, Joseph. *On Adam's House in Paradise. The Idea of the Primi-tive Hut in Architectural History.* New York: The Museum of Modern Art, 1972 according to Viollet-le-Duc. Dikutip dari: Egenter, Nold. *The Present Relevance of the Primitive in Architecture.* Dalam: *Architectural Anthropology.* Jilid 1. Lausanne 1992. hlm. 99.

17 Laugiers, Abbé. *Essai sur l'architecture,* 1753. Dikutip dari: Vale, Brenda dan Robert. *Green Architecture.* London 1996, hlm. 12.

dengan tali rotan dsb.). Mereka telah bisa menggunakan rumah berbentuk kerucut yang dimahkotai dengan bubungan tanduk. Orang ini berpikir menurut adat istiadat dan mulai mengabaikan perubahan-perubahan yang mengubah kebiasaan yang berlaku. Gambar berikut mencerminkan langkah perkembangan dengan keterangan tentang penyelesaian dan penemuan baru:

Gambar	Perkembangan	Bentuk struktur bangunan
	Rangka dari gubuk kerucut dengan tanduk bubungan.	Rangka dasar dengan usuk bersilang gunting sebagai kuda-kuda. Usuk lainnya terletak pada percabangan dari tanduk bubungan.
	Perkembangan rangka rumah dengan pembentukan rongrongan (bilik di antara empat saka guru) dan usuk pada bagian atas dan bawahnya terpisah.	Kuda-kuda saka guru sebagai rangka dasar dengan dua usuk bersilang gunting yang mengigal.
		Menegakkan usuk pada bagian atas merupakan ciptaan pertama kali dari suatu atap pelana (kampung) yang mandiri.
		Rangka dasar dengan usuk terletak pada bagian atas dan bawah. Di atas bingkai peran (blandar dan pengerat) diletakkan konstruksi langit.

Yang paling sulit dalam penelitian ini ialah penilaian dan perkembangan pandangan terhadap nilai-nilai budaya.

Berdasarkan pandangan terhadap nilai-nilai budaya, dapat dianggap bahwa pada waktu itu sudah ada semacam estetika bangunan kuno dan mata orang dilatih melihat benda bangunan yang bersifat mendua (dualisme), misalnya pada atap kerucut yang dimahkotai dengan bubungan tanduk. Oleh karena itu, dapat terjadi cacat bentuk atap kerucut apabila tanpa perlengkapan bubungan tanduk. Dapat dianggap juga bahwa estetika bangunan kuno pada waktu itu telah mengandung aspek-aspek keagamaan. Akan tetapi, sampai ke mana pandangan yang bersifat mendua tersebut sudah mengadakan interpretasi kosmologis (langit – bumi simbolik) atau berhubungan dengan suatu penyembahan nenek moyang (bagian atap sebagai tempat dewa/dewi atau sebagai tempat keramat nenek moyang) belum diketahui.[18]

Sejak dahulu kala pemukiman, yang memberi perlindungan terhadap cuaca dan terhadap musuh bagi penghuninya, melambangkan kehidupan mikrokosmos tertentu dan segala sesuatu yang ada di luar dianggap teratur mirip sebagai makrokosmos. Di samping mikrokosmos 'rumah' adalah juga mikrokosmos 'manusia' yang berarti bahwa manusia, konstruksi rumah, bahan bangunan, serta lingkungannya seperti gunung, batu alam, pohon, atau tumbuhan lainnya dapat disamakan sebagai makhluk hidup dan bukan sebagai benda mati.

Hal ini dapat dibuktikan pada penelitian tentang *rite de passage,*[19] yaitu cara upacara mengadakan keturunan, kelahiran, tedak siten, perploncoan (sunatan, khitanan, tarapan), perkawinan, dan pemakaman dilaksanakan untuk manusia, dan hubungan dengan cara upacara kawitan, peletakan batu bertama, mendirikan saka guru, pembebanan saka guru dengan brunjung, mendirikan molo, selapanan omah, dan pembongkaran untuk rumah. Susunan dan aturan cara upacara masing-masing pada asal mula tidak membedakan antara manusia dan rumahnya.

18 Domenig, Gaudenz. *Tektonik im primitiven Dachbau.* ETH-Zürich 1980, hlm. 97, 102; tabel tentang perkembangan konstruksi rumah tradisional menurut Frick, Heinz. *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia.* Yogyakarta 1997, hlm. 34.

19 Menurut: Frick, Heinz. *Rite de passage of house and man in Central Java.* Paper for the Annual Workshop of the European Social Science Java Network (tidak diterbitkan). London 1994.

Rite de passage bagi manusia dan rumahnya

Rite de passage bagi manusia	*Rite de passage* bagi rumah
Diadakannya upacara keturunan oleh pasangan suami-istri yang baru kawin dilakukan sesudah perkawinan di ruang sentong tengen.	Pada upacara kawitan keempat sudut rumah yang akan dibangun ditanami semacam jimat yang melambangkan persetubuhan mengadakan rumah.
Kelahiran terjadi pada ruang sentong kiwo. Ibu yang sedang melahirkan ditempatkan dalam keadaan setengah duduk dan menghadap ke timur.	Peletakan batu pertama atau umpak mengalasi saka guru pada sudut sebelah timur laut. Batu tersebut diukir dengan simbol bunga padma yang melambangkan kekuatan sehingga tak tergoyahkan oleh badai yang dahsyat.
Tedak siten pada anak umur 7 x 35 hari memberi arti bahwa anak mulai berdiri pada lantai, naik tangga, dan duduk bebas di luar, dalam kurungan ayam. Anak selama satu windu menjadi raja dalam keluarga.	Mendirikan saka guru, dimulai dari timur laut, tenggara, dan seterusnya searah terbitnya matahari. Setelah saka guru selesai didirikan, malamnya diadakan sesajen dan mantra tertentu.
Upacara tetesan diberlakukan terhadap anak perempuan dan upacara tetakan diberlakukan terhadap anak laki-laki (yang beragama Islam: khitanan). Hal ini menunjukkan bahwa anak pada umur satu windu bisa ikut memikul beban keluarga.	Pembebanan saka guru oleh brunjung di tengah rong-rongan ini, dikuburkan sesajen sehingga hubungan antara penghuni dengan rumahnya semakin erat.
Perploncoan secara tradisional terjadi untuk gadis saat haid pertama (tarapan) yang membutuhkan ritual kemurnian. Pasti dahulu kala terdapat juga perploncoan bagi laki-laki.	Mendirikan molo (ngedegake omah) dengan selamatan untuk memohon kebaikan dan keselamatan bagi penghuni (dengan berbagai sesajen) agar bangunan tetap kukuh berdiri (secarik kain cindhe dengan maksud menghindari bahaya magis).
Secara tradisional perkawinan merupakan upacara utama di mana penganten duduk di depan ruang sentong tengah menghadap Dewi Sri. Sesudah dikawinkan mereka tidur selama 35 hari dalam ruang sentong tengen.	Upacara selapanan omah merupakan pembebasan rumah dari roh jahat yang mungkin menghuni rumah sejak waktu pembangunan. Upacara tersebut dilakukan 35 hari sesudah rumah siap dihuni.
Pemakaman merupakan upacara yang rumit dan penting ditaati karena kematian melambangkan masa peralihan dalam siklus kehidupan.	Walaupun tidak ada upacara pembongkaran rumah, secara tradisional pembongkaran selalu dilakukan sedemikian rupa sehingga bahan bangunan dapat digunakan kembali dalam siklus material.

Persoalan tersebut dicerminkan dalam bahasa Jawa dimana arti 'berumah tangga' adalah *omah-omah*, yang berasal dari kata *omah* (rumah), sedangkan kata 'mengawinkan' disebut *ngomahaké*.

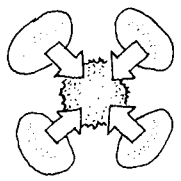
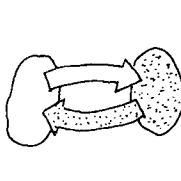
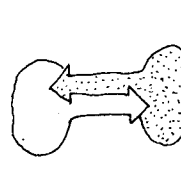
Bangunan sebagai kulit ketiga manusia

Memperhatikan gedung sebagai makhluk atau organik, berarti bahwa bidang batasan antara bagian dalam dan bagian luar gedung tersebut, yaitu dinding, lantai dan atap, dapat dimengerti sebagai kulit manusia yang ketiga (kulit manusia sendiri dan pakaian sebagai kulit pertama dan kedua) dan harus melakukan fungsi-fungsi pokok sebagai berikut: bernapas, menguap, menyerap, melindungi, menyekat, dan mengatur (udara, kelembapan, kepanasan, kebisingan, kecelakaan, kegunaan, dan sebagainya). Dengan begitu, membangun rumah berarti menciptakan suatu sistem yang dinamis terbuka dan yang selalu mengatur hubungan antara bagian dalam dan bagian luar gedung tersebut.

Sayangnya, hampir semua gedung modern yang merupakan sistem tertutup menggunakan bahan sintetis atau bahan yang canggih seperti misalnya kaca atau aluminium yang tidak dapat bernapas dan menguap, dengan memakai penghawaan teknis (AC) daripada penyejuk udara secara alamiah atau pemakaian lapisan dinding serta langit-langit yang tipis dengan permukaan yang licin dan keras sehingga tidak menyerap bising dan panas. Menyadari hal-hal tersebut maka perencanaan arsitektur, penentuan struktur gedung dan konstruksi, serta pemilihan bahan bangunan semuanya harus dilakukan dengan teliti dan penuh kepekaan karena kita membicarakan kulit ketiga manusia dan kualitas arsitektur.

Bangunlah di dalam angan-angan, sebuah atap di tengah hutan,
Sebelum rumah kaudirikan dalam lingkungan kota.
Karena, sebagaimana kau mesti pulang setiap senja,
Demikian pula jiwa halusmu, yang mengembara sendiri senantiasa.
Dia tumbuh berkembang di sinar mentari,
Dia tidur di kala malam kelam dan sunyi
Dalam kelelapan yang tiada sepi dan mimpi.
Tiadakah rumahmu mengenal mimpi?
Dan selama bermimpi, dia tinggalkan kotamu,
Melayang terbang ke gua-gua dan bukit biru?[20]

20 Gibran, Kahlil. *Sang Nabi*. edisi ke-12. Jakarta 1995. hlm. 42; Bdk. juga: Bachelard, Gaston. *Poetik des Raumes* (puisi ruang). Frankfurt 1987.

Karena sebagian bahan bangunan berbahaya akan memperjelek iklim mikro di dalam gedung ataupun meracuni penghuni, sebaiknya dipilih bahan bangunan yang sedemikian rupa sehingga berpengaruh baik terhadap penghuni; menambah kebahagiaan dan kenyamanan bahkan bisa menimbulkan efek menyembuhkan juga. Hal ini dapat dialami pada gedung-gedung tradisional yang dibangun dengan bahan bangunan alam seperti kayu, bambu, serat-serat, daun-daunan, batu bata, batu alam, ubin bata tanah liat, plesteran tanpa semen dan sebagainya, dengan cat, pengawetan, dan finishing lainnya yang alamiah juga.

Hipotesis *Gaia*

Yang mungkin paling mempengaruhi dasar perencanaan arsitektur pada masa depan adalah hipotesis *Gaia*[21] yang menentukan bahwa

> kehidupan bukan menciptakan lingkungan menurut kebutuhannya, kehidupan bukan merupakan faktor penentu, melainkan sistem keseluruhan, termasuk kehidupan dan lingkungan material.

Hipotesis ini kemudian dibuktikan karena organisme-organisme dan lingkungan fisik-kimia dalam evolusinya berhubungan begitu erat sehingga bumi dapat dianggap sebagai makhluk hidup, sebagai organik yang luar biasa besar yang mengatur suhu, iklim, dan susunan kimia udara kita serta saling menukar informasi dengan makhluk-makhluk lainnya.[22] Perencanaan benda atau barang apa pun yang dihasilkan melalui kecerdasan manusia adalah bagian mikrokosmos dalam makrokosmos, berarti *Gaia* dalam kehidupan kita. Tiba-tiba dapat kita akui bahwa cara kehidupan manusia berhubungan erat sekali dengan kehidupan makhluk-makhluk yang lain, apakah itu makhluk batu, pohon, atau bumi sebagai *Gaia*.[23] Kerusakan apa pun yang diakibatkan kegiatan manusia di dunia ini akan menyakiti bumi sebagai *Gaia* dan akan menghancurkan dasar kehidupan kita. Tingkah laku manusia dan khususnya tingkah laku arsitek sebagai perusak dan pembunuh alam sekitarnya akan menyakiti *Gaia* secara terus-menerus. Dari pengertian ilmu ke-

21 Pergerakan Gaia (menurut nama dewi bumi Yunani) yang didirikan pada awal 1970-an oleh dr. James Lovelock dan Lynn Margulis menganggap bumi sebagai makhluk hidup.

22 Lihat juga bab. 6: Radiasi teristis, kosmis, dan teknis.

23 menurut: Pearson, David. *Gaia Tec – Design for a living planet.* Paper for: International Symposium on Ecological Design. Budapest 1992. berdasarkan atas: Lovelock, James. *Gaia. The practical science of planetary medicine.* London 1991.

sehatan sebuah sel yang diserang oleh mikro-organik lain diketahui ada empat cara penyelesaian:[24]

Imunisasi sel merusak mikro-organik yang merangsang.	Sel dan mikro-organik yang merangsang akan saling berperang.	Mikro-organik yang merangsang merusak sel. Kemudian, dua-duanya akan mati.	Sel dan mikro-organik yang merangsang mempekerja sama demi keuntungan keduanya.

Keadaan imunisasi, peperangan, dan perusakan akan melemahkan kedua belah pihak, sedangkan kerja sama memperkuat keduanya.[25]

Atas dasar hal-hal yang telah diuraikan maka eko-arsitektur adalah:

- **holistis**, berhubungan dengan sistem keseluruhan, sebagai suatu kesatuan yang lebih penting daripada sekadar kumpulan bagian;[26]
- **memanfaatkan pengalaman manusia** (tradisi dalam pembangunan) dan pengalaman lingkungan alam terhadap manusia;[27]
- **pembangunan sebagai proses** dan bukan sebagai kenyataan tertentu yang statis;[28] serta
- **kerja sama** antara manusia dengan alam sekitarnya demi keselamatan kedua belah pihak.[29]

24 Menurut: Lovelock, James. *op cit.* hlm. 154

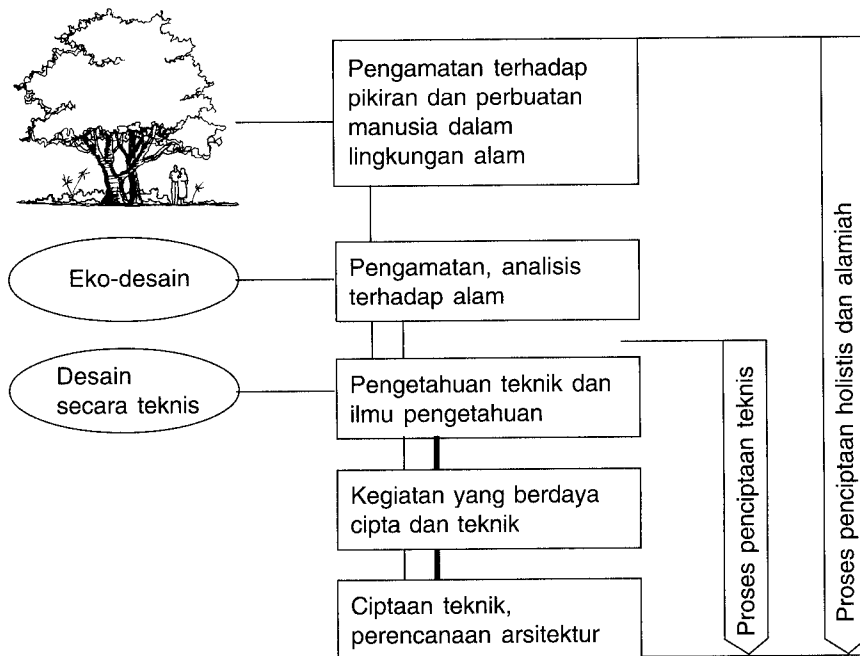
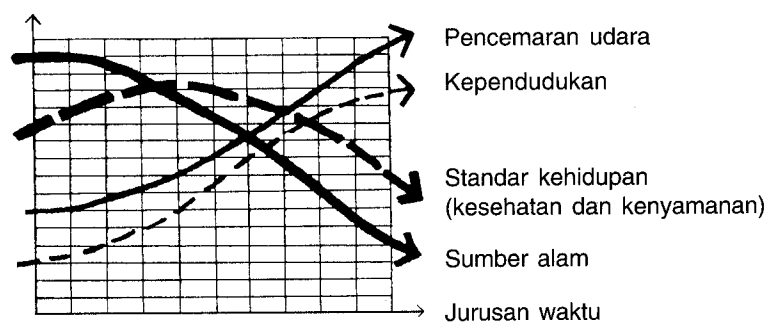
25 Peter Schmid menciptakan istilah 'holistic participation' untuk cara kerja sama antara beberapa belah pihak demi keuntungan keseluruhan. Lihat buku: *Bio-logische Architektur.* edisi ke-2. Köln-Braunsfeld 1983. hlm 94-95

26 *Ibid.* hlm. 72-77

27 Lihat juga: Frick, Heinz. *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia. op cit.* Bagian 3: Unsur pokok arsitektur Indonesia.

28 Lihat: Otto, Konrad. *Oekologisches Bauen – Standort.* Di dalam: *Grünes Bauen, Technologie und Politik,* jilid 18. Reinbek/Hamburg 1982. hlm. 31

29 Lihat: Lovelock, James. loc. cit.

Pelaksanaan dan perencanaan eko-arsitektur tidak dapat disamakan dengan perencanaan arsitektur masa kini karena, seperti telah ditentukan, perencanaan eko-arsitektur harus dimengerti sebagai proses dengan titik permulaan terletak lebih awal.[30] Tanpa perhatian pada ekologi, manusia akan bunuh diri akibat klimaks ekologis.

Dinamika bunuh diri manusia akibat klimaks ekologi[31]

30 Menurut: Béda, G. dan Szekeres, A. *Thoughts on the cherry tree.* Paper for the International Svedala Symposium on Ecological Design. Budapest 1992.

31 Abut, A. et al. *Climate-Habitat-Culture.* Report on the International Seminar. TU Eindhoven 1985. hlm. 14.

Adalah ciri khas masyarakat masa kini, bahwa keadaan alam sekitarnya yang terancam membahayakan juga keturunan kita. Permasalahan kerusakan lingkungan alam mengandung dimensi waktu yang luar biasa sebagai tuntutan kepada kita pada masa kini.[32]

1.4 Unsur pokok eko-arsitektur

Bagi banyak manusia tradisional, segala materi terdiri dari empat unsur, yaitu bumi (*lemah*), air (*banyu*), api (*geni*), dan udara (*angin*). Walaupun menurut pengetahuan masa kini, hal ini jauh lebih rumit, empat unsur tersebut dapat dianggap sebagai awal pembicaraan hubungan timbal balik antara gedung dan lingkungan.

Udara untuk bernapas. Hubungan erat antara udara pernapasan dan kehidupan adalah pengalaman kehidupan manusia. Makin tercemar udara, makin susah pernapasan dan kualitas kehidupan menurun.

Lupakanlah keenam propinsi yang berasap,
lupakanlah uap yang mendengus dan torak yang menerpa,
lupakanlah perkembangan kota yang dahsyat dan mengisap darah.[33]

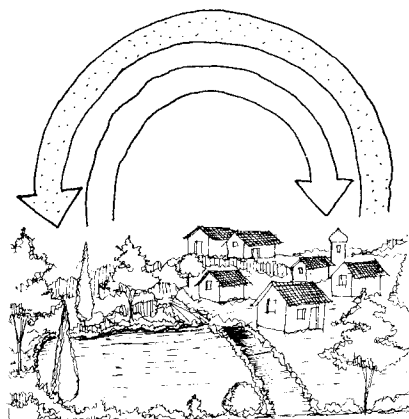
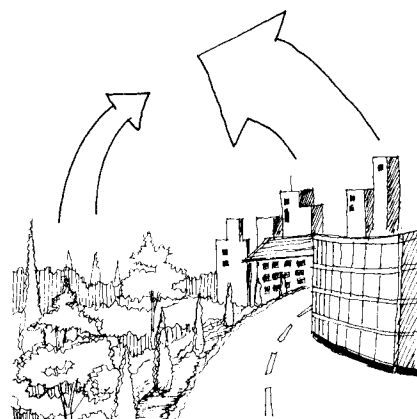
Berarti pencemaran lingkungan bukan hal yang baru. Sejak awal masa industrialisasi, pencemaran udara oleh manusia meningkat sangat tajam, sehingga sistem pembersihan udara secara alami tidak berfungsi lagi dengan baik. Di samping pencemaran udara juga menimbulkan efek sampingan seperti lubang ozon dan pemanasan global.[34]

Susunan udara alami	Susunan udara tercemar
Nitrogen (79%), Oksigen (20%), Gas-gas mulia, Karbondioksida	Nitrogen, Oksigen, Gas-gas mulia (seperti Argon dll.), Karbondioksida
Runtut dari: Sulfurdioksida, Karbonmonoksida, Nitrogenoksida, Ozon (< 120 μg/m³), Hidrokarbon, Debu	Sulfurdioksida (lipat 2-20 kali), Karbonmonoksida (lipat 5-200 kali), Nitrogenoksida (lipat 1-50 kali), Ozon (lipat 2-10 kali), Hidrokarbon (lipat 1-20 kali), Debu (lipat 3-10 kali)

32 Binswanger, Hans Christoph. *Nachhaltigkeit und Verfassung.* Di dalam: *Symposium Binding-Preis für Natur-+Umweltschutz.* Schaan 1995. hlm. 16.

33 Morris, William. *The earthly paradise.* 1897. Dikutip dari: Vale, Brenda dan Robert. *op. cit.,* hlm. 18.

34 Lihat bab 6.3 Radiasi; kosmis, Efek rumah kaca. hlm. 144-145.

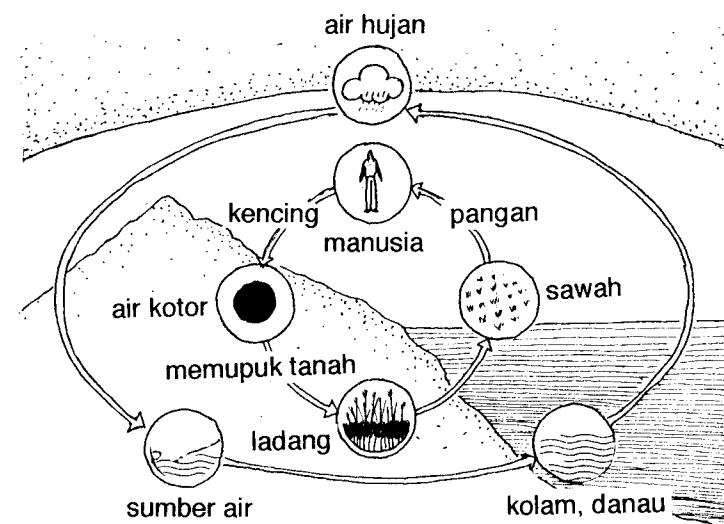
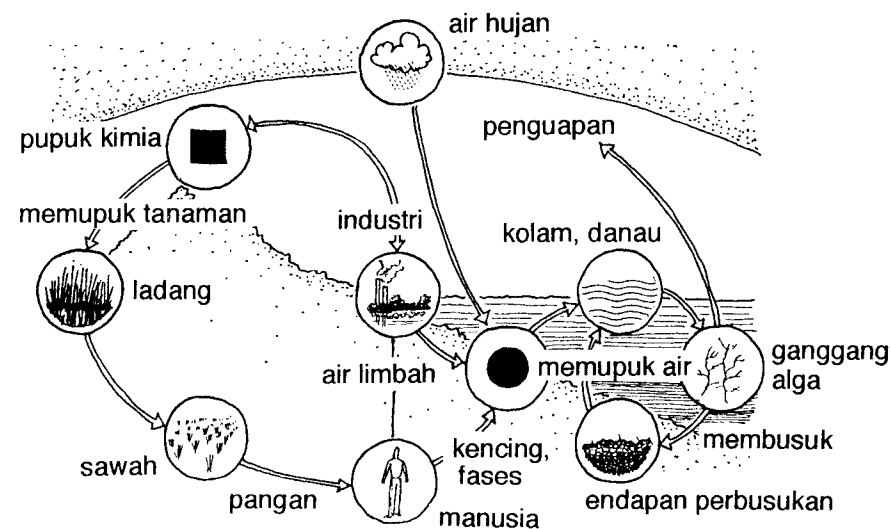
Peredaran udara dan kemampuan membersihkan udara:[35]

Masa pra-industrialisasi:
Peredaran udara belum terganggu; sistem pembersihan udara mencegah konsentrasi tingginya zat-zat pencemar secara alami.

Masa industrialisasi:
Peredaran udara terganggu; sistem pembersihan udara secara alami terbebani; secara global terjadi konsentrasi karbondioksida yang berlebihan dan pada tempat tertentu terjadi konsentrasi tinggi zat-zat pencemar.

Walaupun kita tahu bahwa pencemaran udara oleh kegiatan manusia dan pencemaran udara tersebut semakin banyak mengganggu kesehatan manusia, kita rupanya belum bersedia memperhatikan tanda bahaya dari alam sekitar. Kehidupan di kota-kota besar mengakibatkan manusia makin sesak bernapas dan lubang ozon melipatgandakan penyakit kanker kulit.

> *Penyakit yang mungkin timbul dari pencemaran udara dari pabrik dan kendaraan bermotor, katanya di antaranya sesak napas hingga kanker paru, dan dapat berakibat pada tingkat kecerdasan yang menurun.*
>
> *Biaya kesehatan yang dikeluarkan untuk menanggulangi penyakit yang ditimbulkan oleh polusi udara ... di Indonesia mencapai Rp. 450 milyar. Upaya menekan kerugian akibat pencemaran udara itu, selain dilakukan melalui program pemantauan di industri juga melalui pengujian emisi gas buang dari kendaraan bermotor di bengkel-bengkel.*[36]

35 Menurut: ATAL, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene. *Luft, bessere Luft im Kanton Zürich.* Hombrechtikon 1992. hlm. 6.

36 Harian Kompas. *Rp. 450 milyar, biaya penanggulangan penyakit akibat pencemaran udara.* Jakarta 17 April 1997.

Air dan perairan mengadakan dan membentuk bumi kita. Lautan, sungai-sungai, dan lapisan es pada kutub, serta air di bawah tanah merupakan sumber yang luar biasa besar (1'384 x 10^6 km^3). Banyaknya air tersebut tidak dapat ditambah maupun dikurangi. Meskipun demikian, air bersih dan air minum makin lama makin sulit didapatkan oleh karena dari banyaknya air tersebut 97.4% -nya adalah air asin dan hanya 2.6% air tawar.

Peredaran air yang utuh, yang belum banyak diganggu manusia

Peredaran air yang terganggu oleh kelakuan manusia dan industri

Walaupun kita tahu tentang terbatasnya sumber air minum, manusia terus-menerus memboroskan air minum dan mencemari air bersih menjadi air limbah, kita rupanya belum bersedia untuk memperhatikan tanda bahaya dari alam sekitar. Pencapaian air minum di kota-kota besar terutama di musim kemarau sangat terbatas yang mengakibatkan masyarakat berekonomi rendah sulit mendapatkan air minum dan sebagai akibatnya banyak terjangkit penyakit diare, muntah-berak, atau tifus.

Karena kualitas air minum menurun terus-menerus, maka penjualan air minum dalam botol (yang sangat kurang ekologis) meningkat. Penggunaan air tidak hanya menjadi persoalan dalam rumah tangga, melainkan juga dalam penyediaan bahan bangunan, seperti terlihat pada tabel berikut.

Penggunaan air			
Perindustrian	liter	Rumah tangga per hari[37]	liter
1 ton semen	3'600	Kehilangan (bocoran pipa)	72
1 m^3 beton	200	WC dan mandi	48
1 ton besi	15'000	Cuci pakaian	16
1 ton kertas	270'000	Cuci piring	12
1 mobil sedan	75'000	Siram bunga, cuci mobil	8
		Minum dan masak	4

Air suci yang terdapat dari sumber air tertentu yang mengandung zat-zat khusus memiliki sifat menyembuhkan penyakit tertentu. Air suci juga dapat dibuat oleh pendeta guna tata upacara, seperti misalnya pembaptisan (agama Kristen/Katolik), wuduh (agama Islam), upacara selapanan omah (agama Jawa/Hindu/Buddha), dan sebagainya.

Api (energi). Di mana pun manusia hidup, bagi banyak kegiatan ia membutuhkan energi, untuk menyediakan makanan, untuk membakar batu bata, dan untuk memproduksi peralatan. Pembangkitan energi

37 atas dasar kebutuhan air rumah tangga di Inggeris = 160 liter orang/hari. Kehilangan oleh kebocoran saluran air PAM di Jakarta adalah 45%.

dalam bentuk apa pun selalu membebani lingkungan alam. Api yang memanaskan dingin, yang menerangi kegelapan tetapi yang juga mengandung kekuatan merusak yang menakutkan, melambangkan energi dan bahan bakarnya. Bahan bakar dapat digolongkan atas dua kategori, yaitu yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui, menurut tabel berikut.[38]

Energi yang dapat diperbarui		Energi yang tidak dapat diperbarui	
Sumber energi	Potensial	Sumber energi	Cadangan
Tenaga surya aktif	1.2 kW/m^2	Batu bara	3.23×10^{17} MW
Tenaga surya pasif	1.2 kW/m^2	Minyak bumi	1.50×10^{16} MW
Tenaga air (global)	2.8×10^6 MW	Minyak gas	9.41×10^{12} MW
Tenaga angin (9 m/s)	0.2 kW/m^2	Tenaga nuklir	
Kayu bakar	1.8 kWh/kg		
Biogas	10 kWh/m^3		
Etanol			

Penggunaan energi untuk seluruh dunia diperkirakan 3×10^{14} MW per tahun[39] yang berarti bahwa bahaya bagi manusia tidak terletak pada kekurangan energi, tetapi pada kebanyakan yang dibakar dan mengakibatkan kelebihan karbondioksida di atmosfer yang mempercepat efek rumah kaca dan pemanasan global. Oleh karena itu, masalah energi adalah masalah utama untuk manusia masa depan.

Walaupun kita tahu tentang perbedaan energi yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui, manusia tetap cenderung memanfaatkan energi yang tidak dapat diperbarui (batu bara, minyak, dan gas bumi) karena dianggap penggunaan lebih mudah dibandingkan dengan energi yang dapat diperbarui. Pencemaran udara dan pemanasan global serta efek rumah kaca yang diakibatkan oleh kegiatan manusia

38 data energi yang dapat diperbarui menurut: Krusche, Per et al. *Oekologisches Bauen*. Wiesbaden, Berlin 1982. hlm. 138, 160, 162, 178, 189, 193; data energi yang tidak dapat diperbaharui: Vale, Brenda dan Robert. *op.cit.* hlm. 28.

39 Watt committee on Energy. *An assessment of energy resources*. Report No. 9, London 1980.

tersebut yang mengganggu kesehatan manusia yang sesak bernapas serta menderita penyakit kanker kulit yang dilipatgandakan oleh lubang ozon dan sebagainya semakin banyak, tetapi kita rupanya belum bersedia untuk memperhatikan tanda bahaya dari alam sekitar.

Bumi (sumber bahan baku) dalam banyak agama menjadi ibu manusia, menjadi makhluk hidup yang mendukung dan mengizinkan kehidupan manusia, binatang, dan tumbuhan di atasnya.[40] Sepertiga dari manusia menghuni rumah dari tanah liat dan sebagian besar dengan bahan bangunan tradisional yang diambil dari dalam bumi (pasir, kerikil, batu-batuan, tanah liat, logam, sulfur, dan mineral lainnya).

> *Kublai Khan bertahan diam termengung. Kemudian, ia menambah: 'Mengapa Anda bicara tentang batu-batu? Bagi saya yang berarti hanya konstruksi busur.'*
> *Polo menjawab: 'Tanpa batu-batu tidak ada konstruksi busur.'*[41]

Gedung sering dibentuk dari bahan baku bumi: dalam bentuk batu gunung, batu kali, atau batu bata yang dibakar dari tanah liat maupun dari tanah atau tanah liat yang dientak (*pisé*) atau dicetak batu (*adobe*). Bangunan dengan bahan bangunan bumi tersebut di atas dapat dianggap sebagai pembentukan baru dari permukaan bumi.

Baru sejak abad ke-19, timbul bahan bangunan modern seperti semen portland sebagai dasar beton, baja, kaca, aluminium, plastik, dan bahan sintetis lainnya. Walaupun bahan modern ini tetap merupakan bahan yang berasal dari bahan baku bumi, bahan tersebut telah mengalami transformasi yang keadaan entropinya rendah. Setiap bahan bangunan alam harus dianggap sebagai pinjaman yang kemudian hari harus kita kembalikan (bayangkanlah seorang yang meminjam buku dari perpustakaan kota dan kemudian mengembalikan segenggam sobekan kertas; pasti petugas perpustakaan tidak mau menerima pengembalian ini dan orang itu harus membayar ganti rugi). Sama saja dengan bahan baku yang kita pinjam dari bumi kita. Suatu ketika bila bumi menuntut kembali bahan pinjaman tersebut, kita harus membayar ganti rugi.

Walaupun kita tahu tentang hal tersebut, manusia tetap berharap agar tuntutan pengembalian tersebut terjadi pada masa depan yang masih

40 Lihat hipotesis Gaia, hlm. 26-27.

41 Calvino, Italo. *Die unsichtbaren Städte*. München 1985. hlm. 96.

jauh. Akan tetapi, esok lusa anak-anak kita harus membayar utang kita juga. Apakah kita akan menyediakan modal kepada mereka sehingga mereka siap?

Eksploitasi bahan baku pada permukaan bumi manusia pada umumnya dilakukan dengan cara mencuri saja dan meninggalkan kegersangan. Hal ini dapat diperhatikan pada pertambangan biji logam di Pulau Bangka dan di Tembaga Pura, pertambangan batu bara di Sumatra, serta emas dan intan di Kalimantan Selatan. Sama saja terjadi di mana manusia membakar hutan dan merusak sumber alam lainnya tanpa menghiraukan kelestarian.

Tugas 2:

Menyusun kerusakan dan pencemaran lingkungan alam oleh kegiatan manusia berhubungan dengan keempat unsur udara, air, api, dan bumi tersebut.

Menggambarkan proses perbaikan berhubungan dengan kerusakan dan pencemaran tersebut. Memilih terutama cara dan proses yang alami atau yang membutuhkan teknologi sederhana saja.

Menyediakan dua poster yang memberi petunjuk bagaimana kerusakan dan pencemaran lingkungan alam dapat dikurangi dengan perubahan sikap manusia terhadap lingkungan alam.

Poster 1: Untuk pengumuman di kampung atau di kampus universitas

Poster 2: Untuk kamar tidur sendiri, sehingga tidak akan terlupa.

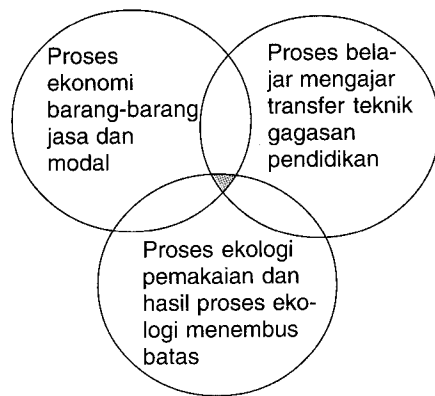
2. Perencanaan eko-arsitektur

Ribuan tahun lamanya, manusia berjuang untuk menguasai alam. Jiwa dan raga tidak jarang dipertaruhkan. Dewasa ini, setidak-tidaknya dari segi teknik, manusia memenangkan peperangan dengan alam tersebut. Namun, manusia dengan tidak sadar enggan meninggalkan posisi kekuasaan itu, enggan mengekang diri, mengganggu misteri agung dalam alam, tidak menghargai batas-batas yang menentukan mana yang harus dan mana yang tidak boleh dikerjakan. Kita harus mau mengakui keajaiban alam semesta yang hanya terbuka bagi mereka yang melihat dan mau menikmatinya. Kita dihadapkan pada pertanyaan: Bersediakah kita mengayunkan langkah pertama ke arah pengekangan diri atau tidak? Sebab langkah inilah yang akan menuju ke keseimbangan antara alam dan manusia.

Penggolongan dan penumpukan batas dari proses ekonomi, proses belajar-mengajar, dan proses ekologi dapat digambarkan:[1]

Proses ekonomi barang-barang jasa dan modal

Proses belajar mengajar transfer teknik gagasan pendidikan

Proses ekologi pemakaian dan hasil proses ekologi menembus batas

Daerah penumpukan batas yang mudah tersinggung

Penggolongan proses pendidikan proses ekologi dan ekonomi

Ahli ekonomi memandang bahwa tanpa adanya dukungan lingkungan (sumber daya alam), sistem ekonomi tidak dapat berjalan. Dukungan lingkungan diperlukan dalam bentuk bahan baku, proses pro-duksi, dan pemasarannya. Wajarlah apabila ahli ekonomi merasa perlu untuk memasukkan perhitungan pengelolaan lingkungan dalam analisis ekonomi (yang kemudian disebut ekonomi lingkungan). Pada akhirnya semuanya bertujuan keberlanjutan aktivitas pembangunan.

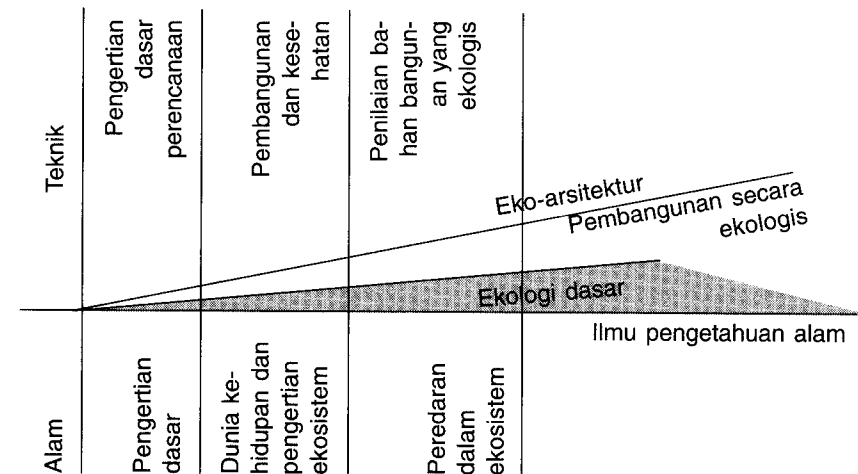
1 Gambar berdasarkan: Fritsch, Bruno. *Mensch-Umwelt-Wissen. Evolutionsgeschichtliche Aspekte des Umweltproblems.* edisi ke-3. Zürich, Stuttgart 1993. halaman 13; dengan teks disamping kanan dari: Daryanto/Dwi Prihanto/Farid Hadi Rahman/Suryatri Darmiatun. *Buku pendidikan kependudukan dan lingkungan hidup untuk guru STM.* draft tak diterbitkan. Malang 1995. bab III, hlm. B.4.

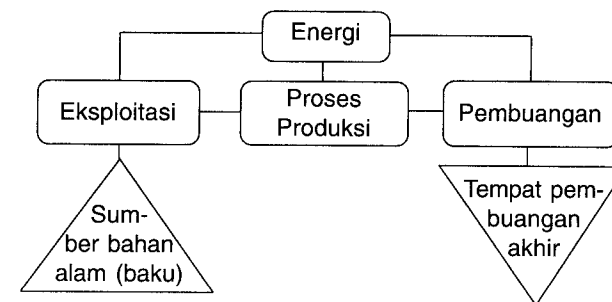
Kemudian, perlu diperhatikan hubungan perkembangan teknik terhadap ilmu pengetahuan alam pada sumbu waktu sebagai berikut:

Teknik: Pengertian dasar perencanaan | Pembangunan dan kesehatan | Penilaian bahan bangunan yang ekologis

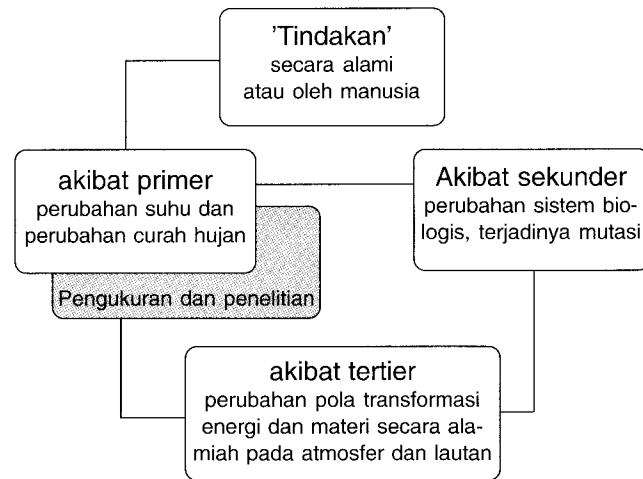
Eko-arsitektur — Pembangunan secara ekologis

Ekologi dasar — Ilmu pengetahuan alam

Alam: Pengertian dasar | Dunia kehidupan dan pengertian ekosistem | Peredaran dalam ekosistem

Pengertian eko-arsitektur berhubungan dengan pengalaman teknik (termasuk tradisi) dan ilmu pengetahuan alam.

Ada dua arus yang mempengaruhi kehidupan manusia: pengalaman teknik dan alam, berhubungan dengan ilmu pengetahuan alam sebagai sumbu waktu. Teknik timbul di mana ada kekurangan. Teknik selalu merupakan alat bantu yang dengan cepat dapat diterapkan kalau proses biologis dirasakan terlalu lamban. Akan tetapi, penerapan teknik menimbulkan akibat-akibat sampingan, baik biologis, psikologis, maupun ekologis. Dampak inilah yang merupakan imbalan dari kelebihan teknik yang dangkal dan berjangka pendek. Siapa yang melakukan teknik dengan energi yang tidak dapat diperbarui, menimbulkan pencemaran dan perusakan semua peredaran kehidupan.

Hubungan antara produksi, energi, dan lingkungan alam[2]

2 Gambar berdasarkan: Fritsch, Bruno. *op.cit.* hlm. 176.

Manusia merupakan bagian dari lingkungan. Tahun-tahun belakangan ini, kita membebani serta memberati lingkungan kita dengan perampasan dan kesewenang-wenangan. Kita lupa bahwa pada suatu saat kelak kita harus menanggung akibatnya.

Gangguan dan akibatnya pada iklim global[3]

Kalau kita akan memperhatikan pembangunan secara ekologis lebih teliti, maka kita harus memperhatikan arsitektur dari tiga tingkatan, yaitu

- perencanaan secara ekologis;
- pembangunan dan kesehatan manusia dan lingkungan; dan
- bahan bangunan yang sehat.

Salah satu kebutuhan dasar kehidupan adalah papan (rumah) di samping pangan dan sandang. Papan berarti perumahan dan pemukiman. Pemuasan kebutuhan dasar di bidang arsitektur sebaiknya dilaksanakan dengan pembangunan yang sehat, yang ekologis, dan yang menurut *Rudolf Doernach* merupakan 'bangunan hidup', dan bukan dengan pembangunan teknis saja yang menantang kehidupan, yang menurut *Rudolf Doernach* tadi adalah 'bangunan mati'.[4]

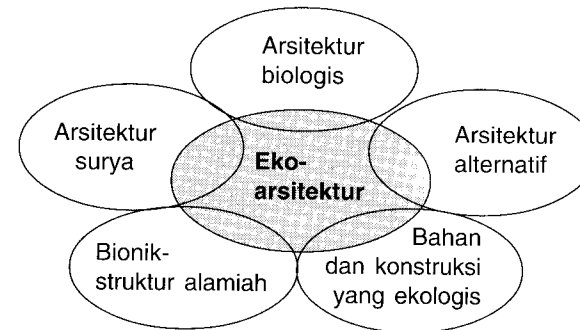
Perkembangan yang bersinambung dalam suatu kemasyarakatan meliputi sifat kesesuaian sosial, ekonomi, maupun ekologi (berhubungan dengan lingkungan alam dan lingkungan buatan).

3 Gambar berdasarkan: Fritsch, Bruno. *op.cit.* hlm. 194.

4 Doernach, Rudolf/Heid, Gerhard. *Biohaus für Dorf und Stadt.* Frankfurt/M 1981. hlm. 15-16.

2.1 Ekologi dan eko-arsitektur

Atas dasar pengetahuan dasar-dasar ekologi yang telah diuraikan (lihat halaman 1), maka perhatian pada arsitektur sebagai ilmu teknik dialihkan kepada arsitektur kemanusiaan yang memperhitungkan juga keselarasan dengan alam dan kepentingan manusia penghuninya.

Pembangunan rumah atau tempat tinggal sebagai kebutuhan kehidupan manusia dalam hubungan timbal balik dengan lingkungan alamnya dinamakan arsitektur ekologis atau eko-arsitektur.[5]

Konsep eko-arsitektur yang holistis (sistem keseluruhan)

Sebenarnya, eko-arsitektur tersebut mengandung juga bagian-bagian dari arsitektur biologis (arsitektur kemanusiaan yang memperhatikan kesehatan), arsitektur alternatif, arsitektur matahari (dengan memanfaatkan energi surya), arsitektur bionik (teknik sipil dan konstruksi yang memperhatikan kesehatan manusia), serta biologi pembangunan. Maka istilah eko-arsitektur adalah istilah holistik yang sangat luas dan mengandung semua bidang.

Eko-arsitektur tidak menentukan apa yang seharusnya terjadi dalam arsitektur karena tidak ada sifat khas yang mengikat sebagai standar atau ukuran baku. Namun, eko-arsitektur mencakup keselarasan antara manusia dan lingkungan alamnya. Eko-arsitektur mengandung juga dimensi yang lain seperti waktu, lingkungan alam, sosio-kultural, ruang, serta teknik bangunan. Hal ini menunjukkan bahwa eko-arsitektur bersifat lebih kompleks, padat, dan vital dibandingkan dengan arsitektur pada umumnya.

5 Krusche, Per et al. *Oekologisches Bauen.* Wiesbaden, Berlin 1982. hlm. 7.

2.2 Cipta rasa dan karsa

Perhatian pada desain sering kali diutamakan sehingga fungsi (kegunaan rumah) dan batas-batas kenyamanan serta daya tahan lama konstruksi dan bahan bangunan ditinggalkan saja. Ternyata juga semua dari kelima pancaindra (bukan hanya mata saja) terlibat pada waktu manusia menangkap suatu gedung, suatu pandangan yang indah, atau lingkungan biasa.

Jalan-jalan dari tanah liat dalam keadaan kering atau becek dapat ditangkap lain daripada jalan yang diaspal. Suatu halaman baru dapat ditangkap jika halaman tersebut dibatasi oleh gedung dan pagar, misalnya. Sebuah parit (sungai kecil) dengan bunyi gemericik memberi kesan santai, pohon pelindung memberi kesejukan supaya tidak kena panas atau hujan, dan memberi kesempatan orang untuk duduk dan berdiam diri.

Sifat-sifat tersebut tidak hanya memberi gambaran pada salah satu tempat tertentu, melainkan terjadi di semua wilayah yang belum mengalami kehancuran oleh pembangunan yang tak terkendali (atau canggih dan modern saja).

Christopher Alexander menguraikan daya tangkap kualitas lingkungan dengan pancaindra sebagai berikut.

> *Di suatu kebun di negara Inggris yang saya kenal, tumbuhlah sebuah pohon di sisi selatan, suatu tembok kuno yang berdiri dari arah barat ke timur. Matahari bersinar, menghangatkan tembok tersebut yang memanaskan buah pada pohon itu. Perasaan mengantuk dan kesunyian timbul: Pohon terikat pada tembok lama, buah-buah tumbuh di bawah sinar matahari, dan rumput tumbuh menyemak di kaki tembok.*[6]

Pada masa praindustrial segala-galanya dari panen padi, doa sebelum dan sesudah makan sampai dengan ukiran pada tiang rumah atau papan dinding adalah tindakan berdasarkan rasa syukur terhadap Tuhan dan kegiatan yang memuaskan secara kesenian.

6 Alexander, Christopher. *The Timeless Way of Building*. New York 1979. hlm. 25.

Sifat cipta rasa dan karsa pada pembangunan:

Indra	Pengaruh	Akibat agak negatif	Akibat agak positif
penglihatan	bentuk	bersudut kasar, tidak seimbang	bergerak, bulat, beraneka ragam
	warna	bercahaya menyolok	alamiah
	ukuran	besar, kecil, lebar, lancip	sesuai dengan lingkungan
	lingkungan	buatan	alamiah
pendengar	lingkungan	kebisingan lalu lintas, mesin kendaraan bermotor	suara alamiah (burung, parit)
	dalam gedung	teriakan, letusan, frekuensi tinggi	suara kecil yang tidak mengganggu
penciuman	bahan bangunan dan interior	logam, kain sintetis, cat sintetis, plastik	kayu, bunga, tanah, piring tanah liat (kendi)
	penghuni yang mendiami rumah yang sama	bau keringat, keadaan kotor	kebersihan jasmani
	binatang piaraan	bau kotor	binatang piaraan pengiring manusia
	lain-lainnya	debu, limbah gas	aroma, bau harum
perasa	permukaan	dingin, menolak air	hangat, kayu (natural) setengah jadi
	struktur	yang tidak dapat dirasakan	yang dapat dirasakan
	bahan-bahan	bahan tiruan	bahan asli
pengecap	makanan	pahit, asam	manis, lezat

Penyelidikan kualitas kenyamanan

Tujuan setiap perencanaan eko-arsitektur yang memperhatikan cipta dan rasa adalah kenyamanan penghuni. Sayangnya, kenyamanan tidak dapat diukur dengan alat sederhana seperti lebar dan panjang ruang dengan meter, melainkan seperti yang telah diuraikan tentang kualitas[7], penilaian kenyamanan selalu sangat subjektif dan tergantung pada berbagai faktor.

7 Lihat bab 1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur; kualitas arsitektur dan tugas si arsitek. hlm. 17-19.

Penilaian dan penyelidikan kenyamanan, walaupun selalu sangat subjektif dan tergantung pada berbagai faktor, dapat dilakukan dengan menggunakan tabel[8] berikut:

angka penilaian	secara material/fisis, mis. bahan pelapis, konstruksi dan struktur bangunan	secara fisiologis, mis. fungsi ruang bagi penghuni organisasi dan pengaturan ruang	tanggapan visual, mis. bentuk dan warna dalam ruang, pencahayaan dan penyinaran	pengaruh terhadap hubungan antara badan dan jiwa manusia, mis. suhu, kelembapan, dan bau	secara psikis/batiniah, mis. bagaimana pengalaman ruang dan kenyamanan dapat ditanggapi	secara mental/spiritual, mis. pengaruh oleh medan magnetis dan listrik, serta radiasi alam dan buatan	secara holistis, penilaian integral dan secara keseluruhannya	penilaian kenyamanan
+3								kenyamanan yang luar biasa
+2								kenyamanan yang menye-nangkan
+1								kenyamanan yang masih enak
0								keadaan ke-nyamanan yang netral
-1								keadaan pe-rasaan kurang enak
-2								keadaan pe-rasaan ter-ganggu
-3								keadaan pe-rasaan yang merugikan

Kenyamanan dalam suatu ruang tergantung secara imaterial dari kebudayaan dan kebiasaan manusia masing-masing, dan secara material terutama dari iklim dan kelembapan, bau dan pencemaran udara,

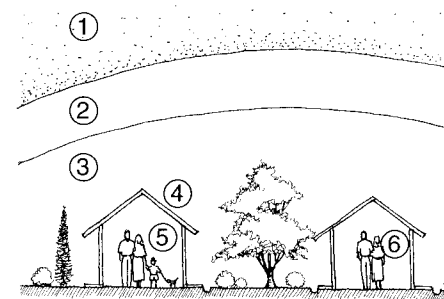
8 Schmid, Peter. *Bouwen, wonen en gezondheid*. Dalam: *Gezond Bouwen & Wonen*. no. 4/ 1996. hlm. 21

radiasi alam dan radiasi buatan, serta bahan bangunan, bentuk bangunan, struktur bangunan, warna, dan pencahayaan.

Iklim dan kelembapan tergantung pada proses termodinamika. Badan manusia sebagai sistem termis tergantung pada persyaratan yang sama. Dengan suhu intinya 37°C, suhu badan manusia selalu memiliki sifat tukar-menukar panas dengan lingkungan sekitarnya. Makin keras manusia bekerja, makin besar proses tukar-menukar panas tersebut. Oleh karena itu, kenyamanan, pengerahan tenaga kerja, dan kesehatan manusia bergantung pada keadaan suhu dan kelembapan.

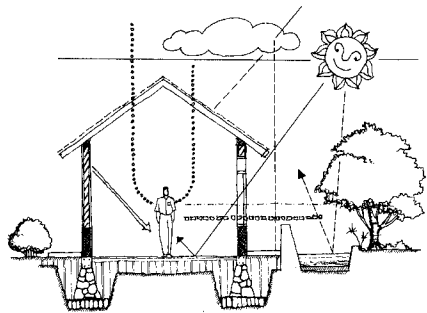
Karena di daerah tropis baik suhu maupun kelembapan sering di luar jajaran kenyamanan tersebut, maka tuntutan kepada arsitek semakin meningkat. Sistem keseluruhannya agak rumit sehingga akan diterangkan sebagai pola mental berlangkah tiga.[9]

1. Pola berlapis ruang

Sebuah rumah dapat dianggap sebagai salah satu lapisan dari pola berlapis ruang yang terdiri dari atmosfer, lingkungan alam dan buatan, ruang luar, struktur gedung, ruang dalam, dan penghuninya sebagai berikut.

Gambar pola berlapis ruang dengan:
1. atmosfer
2. lingkungan alam dan lingkungan buatan
3. ruang luar/ruang antara
4. struktur (konstruksi dinding/ atap)
5. ruang dalam
6. manusia sebagai penghuni

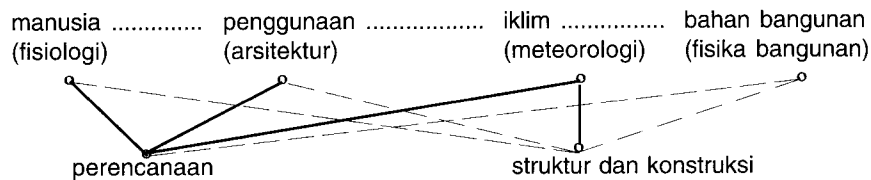
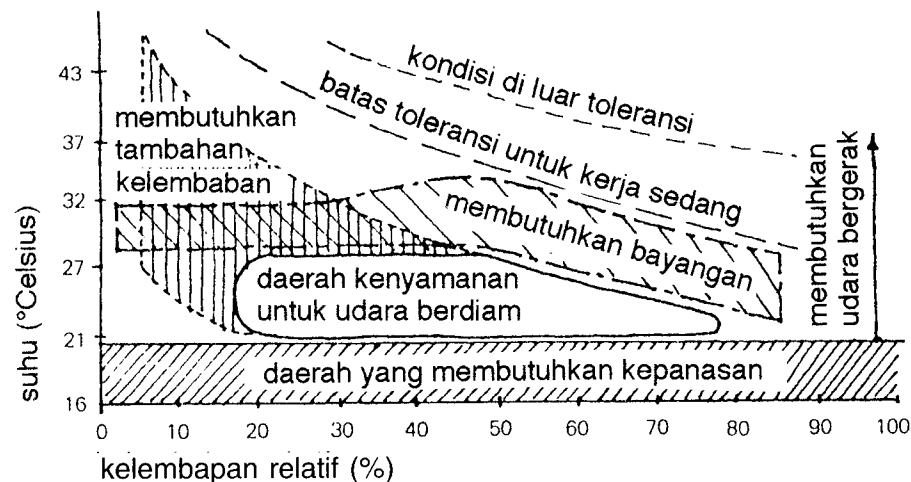
2. Pola termodinamika

Proses termodinamika yang berlaku di dalam pola berlapis ruang membentuk sistem dinamis yang unsurnya berubah-ubah dalam irama siang-malam dan musim kemarau-hujan dan yang berada dalam keseimbangan sebagai skema berikut.

9 Menurut Hardenberg, Joachim Graf von. *Entwerfen natürlich klimatisierter Häuser für heisse Klimazonen am Beispiel des Iran*. Düsseldorf, 1980. hlm. 8-9.

Gambar pola termodinamika:

....	radiasi langsung bergelombang pendek
- - - - -	radiasi kabur bergelombang pendek
———	radiasi bergelombang panjang
—·—·—	proses konveksi
=====	penyaluran panas
¤¤¤¤¤	penyaluran kelembapan

3. Pola kemasyarakatan

Menurut ilmu sosial, lebih tepat penyelidikan pandangan perilaku penghuni, maka pola tersebut berpusat pada manusia dalam bentuk kegiatan, pengalaman menghuni, atau fungsi masing-masing ruang. Kejadian tersebut tergantung irama waktu seperti pada pola berlapis ruang dan radiasi seperti pada pola termodinamis.

Kenyamanan udara ditentukan oleh hubungan antara suhu, kelembapan udara, dan gerakan angin. Lihat gambar berikut.

Bau dan pencemaran udara sering mengganggu kenyamanan manusia secara langsung maupun tidak langsung. Gangguan ini mengakibatkan rasa sakit melalui sistem saraf yang tidak tergantung pada kemauan, dan dampak penyakitnya secara umum tidak berhubungan langsung dengan hidung, misalnya sakit kepala, rasa mual, sesak napas, gangguan tidur, kurang nafsu makan, atau gelisah.

Indra penciuman merasakan bau tidak sedap terutama dari aroma suatu zat, bahan busuk (protein yang mengubah sifat), proses fermentasi (alkohol), persenyawaan sulfur (bau telur busuk), persenyawaan klor, atau persenyawaan nitrogen (zat lemas). Di samping itu, kualitas udara[10] yang tercemar sering juga mengganggu kenyamanan seperti telah dibicarakan.

Di dalam gedung bahan bangunan sering mencemari udara. Walaupun bau tidak sedap tersebut beberapa waktu kemudian akan hilang, pengaruh terhadap kesehatan manusia akan tetap ada selama bertahun-tahun. Bahan bangunan yang berbahaya dalam hal ini terutama adalah bahan pelapis karena dipasang pada tiap permukaan bagian bangunan, seperti lem kontak (neoprene), lem kondensasi (urea formaldehid resin atau fenolik resin), bahan plastik (PVC), bahan cat (cat PVC-emulsi, cat sintetis, cat epoksi, yang mengandung bahan pencair seperti amoniak, tinner, etilalkohol serta pigmen logam/kimia). Pencemaran udara oleh bahan bangunan dapat dihindari dengan menggunakan bahan bangunan alam seperti tanah, batu, kayu, bambu, dan sebagainya dengan penyelesaian/ lapisan akhir yang mempengaruhi kenyamanan secara positif dengan bau harum seperti lilin lebah, damar alam, dan minyak kayu atau minyak nabati yang mengering sendiri (minyak lena atau minyak jarak). Bau alami berupa wangi-wangian di dalam eko-arsitektur merupakan matra keenam[11] dari ruang.

Radiasi alam dan radiasi buatan pada permukaan bumi menjadi salah satu dasar kehidupan manusia, binatang, dan tumbuhan (makhluk hidup). Radiasi yang bersinar secara terus-menerus akan berubah-ubah sesuai dengan cuaca iklim dan waktu, maka radiasi tersebut pada umumnya akan memajukan dan mendukung kehidupan. Sedangkan

10 lihat bab 1.4: Unsur pokok eko-arsitektur, hlm. 29-30.

11 Matra keenam sebagai bau alam berdasarkan pengertian ruang sebagai matra ketiga, waktu sebagai matra keempat dan suara alam sebagai matra kelima.

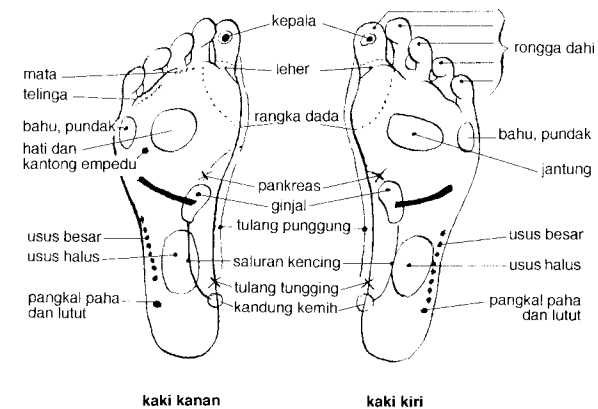
irama pengintensifan radiasi akan berubah dan menjadi stabil, maka kesehatan makhluk hidup di dunia ini mengalami gangguan. Tempat-tempat gangguan tersebut dinamakan lokasi yang geo-patologis.[12]

Tempat dengan radiasi pada permukaan bumi yang bisa mempengaruhi kesehatan manusia dapat digolongkan sebagai berikut.

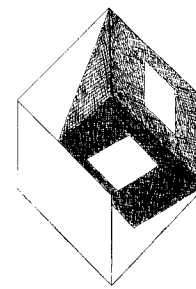
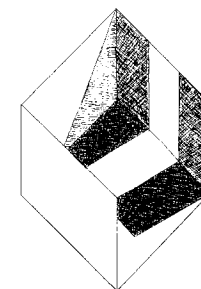
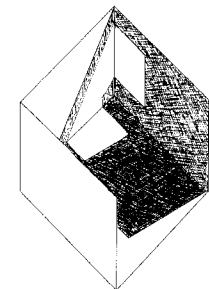
Radiasi alam		Radiasi buatan
radiasi teristis	radiasi kosmis	radiasi teknis
aliran air di bawah tanah (*waterlines, aquatats, tracklines*)	radiasi matahari/surya (sinar cahaya ultraungu, inframerah, dsb.)	instalasi listrik (saluran tegangan tinggi, transformator, instalasi listrik di dalam rumah)
patahan dan dislokasi geologis	radiasi bulan	peralatan listrik (lemari es, radio, TV, dsb.)
lapisan, endapan dalam permukaan bumi (biji logam, batu bara, minyak bumi, dsb.)	radiasi planetaris	peralatan elektronis di dalam rumah tinggal dan kantor (komputer, telepon seluler, dsb.)
jaringan magnetis (jaringan Hartmann atau Curry, *leylines*)		bahan sintetis yang berlistrik statis (*electrostatical charge*)

Radiasi teristis adalah sistem informasi dari bumi kepada semua makhluk dan benda. Sedangkan radiasi lingkungan, irama aktivitas matahari atau cuaca, mempengaruhi kehidupan secara positif karena keberadaannya secara terus-menerus. Jika radiasi berubah menjadi stabil, maka pengaruhnya terhadap kehidupan bisa negatif, berarti akan menimbulkan segala penyakit.

Pada hampir semua kesenian, apakah itu seni lukis atau arsitektur, pemasakan, atau pertanian, diusahakan pemurnian materi. Dalam arti ini kesenian adalah roh yang dihembuskan ke dalam materi dan roh ini dapat dirasa secara tidak sadar oleh pengguna kesenian tersebut. Sama halnya adalah komunikasi antara bumi dan manusia, perasaan secara tidak sadar merupakan alat pancaindra terpenting.

12 Lihat bab 6: Radiasi teristis, kosmis, dan teknis, hlm. 132-153.

Bagian tapak kaki yang mencerminkan bagian tubuh dan pancaindra

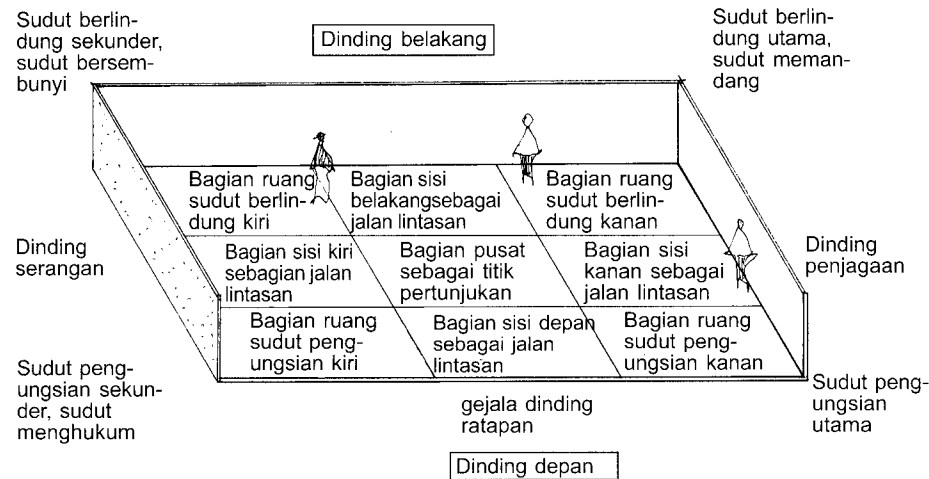
Bentuk dan struktur bangunan merupakan masalah kualitas dalam perencanaan eko-arsitektur, walaupun terdapat beberapa masalah kualitas yang lain yang berhubungan, terutama kualitas bentuk yang tidak dapat diukur maupun diberi standar. Permasalahan struktur telah dibicarakan sebelumnya.[13]

Pencahayaan dan warna memungkinkan pengalaman ruang melalui mata dalam hubungannya dengan pengalaman perasaan. Pencahayaan (penerangan alami maupun buatan) dan pembayangan mempengaruhi orientasi di dalam ruang.

Pencahayaan lewat lubang jendela di tengah dinding

Pencahayaan lewat lubang pintu di tengah dinding

Pencahayaan lewat lubang jendela di sudut ruang

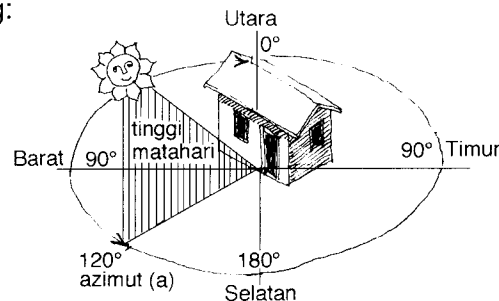
Bagian ruang yang tersinari dan yang dalam keadaan gelap akan menentukan nilai psikis yang berhubungan dengan ruang (misalnya dengan perabot, lukisan, dan hiasan lainnya). Cahaya matahari memberi kesan

13 Lihat bab 1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur, hlm. 15-22.

vital dalam ruang, terutama jika cahaya tersebut masuk dari jendela yang orientasinya ke timur. Kerja sama antara cahaya, warna, dan bayangan dapat menciptakan suasana yang mendukung kehidupan lewat kelenjar hormon, epiphisis, dan hipothalamus yang semuanya terdapat stimulan oleh cahaya.

Kemudian terdapat bagian ruang yang menguntungkan komunikasi, atau memberi perlindungan, sedangkan bagian yang lain menakutkan. Masing-masing bagian dapat ditetapkan dan dinilai berdasarkan pengalaman manusia menurut skema[14] berikut:

Penilaian bagian ruang masing-masing menurut pengalaman manusia.

Pada lingkungan alam, pencahayaan selalu berasal dari atas (matahari pada siang hari), dari Timur (fajar), atau dari Barat (senja). Tabel berikut menunjukkan tinggi matahari (h) dan azimut (a) pada setiap tanggal 21 pada bulan masing-masing:

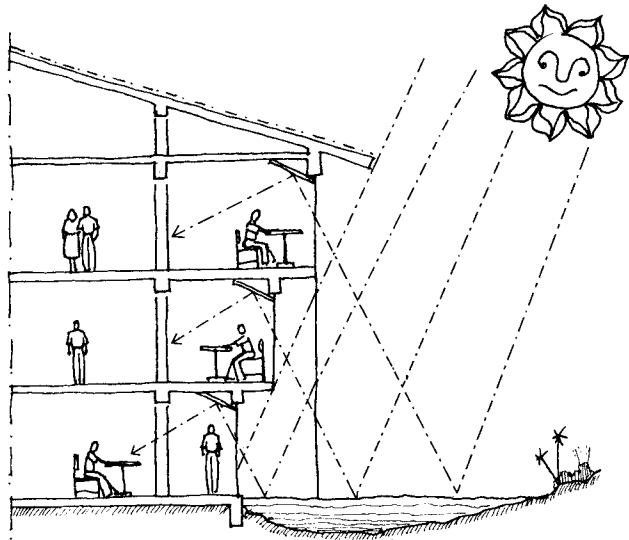
Utara
0°
Barat 90°
tinggi matahari
90° Timur
120° azimut (a)
180°
Selatan

14 Fischer, Fred. *Das Licht als Ruhe- und Bewegungsfaktor des Raumes.* Ceramah. Zürich, 1987.

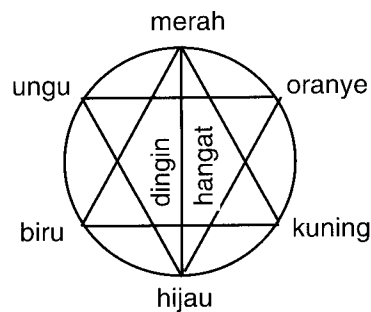
Waktu matahari sebenarnya		Tanggal 21 pada setiap bulan													Waktu matahari sebenarnya
Azimut (a) diukur dari utara ke timur		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.		Azimut (a) diukur dari utara ke barat
6.00	a	109°	100°	90°	80°	70°	67°	70°	80°	90°	100°	109°	114°	a	18.00
	h	3°	2°	6°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	2°	3°	4°	h	
7.00	a	107°	98°	87°	77°	68°	65°	68°	77°	87°	98°	107°	112°	a	17.00
	h	18°	17°	16°	14°	12°	12°	12°	14°	16°	17°	18°	18°	h	
8.00	a	106°	96°	85°	73°	63°	61°	63°	73°	85°	96°	106°	111°	a	16.00
	h	32°	31°	30°	29°	27°	26°	27°	29°	30°	31°	32°	32°	h	
9.00	a	108°	94°	82°	69°	58°	54°	58°	69°	82°	94°	108°	113°	a	15.00
	h	44°	45°	43°	40°	37°	36°	37°	40°	43°	45°	44°	43°	h	
10.00	a	113°	94°	76°	59°	47°	44°	47°	59°	76°	94°	113°	120°	a	14.00
	h	60°	60°	60°	56°	50°	48°	50°	56°	60°	60°	60°	58°	h	
11.00	a	128°	96°	62°	40°	28°	25°	28°	40°	62°	96°	128°	138°	a	13.00
	h	72°	74°	74°	68°	60°	58°	60°	68°	74°	74°	72°	70°	h	
12.00	a	180°	180°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	180°	180°	180°	a	12.00
	h	80°	88°	83°	73°	63°	60°	63°	73°	83°	88°	80°	76°	h	

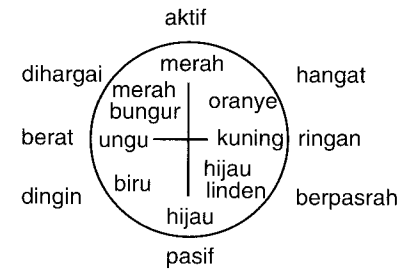
Tabel letak matahari di Semarang, letak 7° selatan dan pada garis bujur 110°

Oleh karena pencahayaan matahari di daerah tropis mengandung gejala sampingan dengan sinar panas, maka di daerah tropis tersebut manusia sering menganggap ruang yang agak gelap sebagai sejuk dan nyaman. Akan tetapi, untuk ruang kerja ketentuan tersebut melawan kebutuhan cahaya untuk mata manusia.

Karena pencahayaan buatan dengan lampu dan sebagainya mempengaruhi kesehatan manusia, maka dibutuhkan pencahayaan alam yang terang tanpa kesilauan dan tanpa sinar panas. Untuk memenuhi tuntutan yang berlawanan ini, maka sebaiknya sinar matahari tidak diterima secara langsung, melainkan dicerminkan/dipantulkan sinar tersebut dalam air kolam (kehilangan panasnya) dan lewat langit-langit putih berkilap yang menghindari penyilauan orang yang bekerja di dalam ruang.[15] Pencahayaan alam mengandung efek penyembuhan dan meningkatkan kreativitas manusia.

15 menurut: Kiss, Miklos. *Neue Erkenntnisse zum Thema Tageslichtnutzung.* Di dalam: Majalah SI+A, No. 50, Zürich 1996, hlm. 1127-1129.

Gedung perkantoran atau industri bertingkat yang menggunakan pencahayaan alam tanpa sinar panas dan tanpa penyilauan.

Kenyamanan dan kreativitas dapat juga dipengaruhi oleh warna seperti dapat dipelajari pada alam sekitar dengan warna bunga, burung, kupu-kupu, dan sebagainya yang semua itu memiliki arti tertentu. Oleh karena itu, warna adalah salah suatu cara untuk mempengaruhi ciri khas suatu ruang atau gedung. Badan manusia bereaksi sensitif terhadap rangsangan dari masing-masing warna.[16]

Jikalau suatu cahaya kena prisma kaca, maka sinar tersebut dipendarkan atas tujuh spektrum warna. Ketujuh warna itu akan dapat dibagi atas warna primer dan warna sekunder sebagai berikut:
Warna primer: merah, biru, kuning;
warna sekunder: oranye, hijau, ungu;
dan sintesis dari semuanya: indigo

16 menurut: Malin, Lisa. *Die schönen Kräfte*. edisi ke-5. Frankfurt/M 1986. halaman 83-85; serta: Neufert, Ernst. *Architects' data*. edisi ke-3. London 1975. hlm. 22.

Warna yang agak terang seperti merah, oranye, kuning, hijau linden (yang agak kekuningan), dan hijau, serta warna yang agak gelap seperti merah, merah bungur, ungu, biru, dan hijau mengandung efek psikologis tertentu. Efek tersebut ialah: aktif – pasif atau berat – ringan.

Karena setiap warna memiliki frekuensi tertentu, maka pengaruhnya atas badan manusia menjadi berbeda pula.

warna	frekuensi dalam Tera-Hertz
ungu	750 THz
indigo	
biru	670 THz
hijau	600 THz
kuning	550 THz
oranye	500 THz
merah	430 THz

Masing-masing warna memiliki tiga ciri khusus, yaitu sifat warna, sifat cahaya (intensitas cahaya yang direfleksi), dan kejenuhan warna (intensitas sifat warna). Makin jenuh dan kurang bercahayanya suatu warna, akan makin bergairah. Sebaliknya, hawa nafsu dapat ditingkatkan dengan penambahan cahaya.

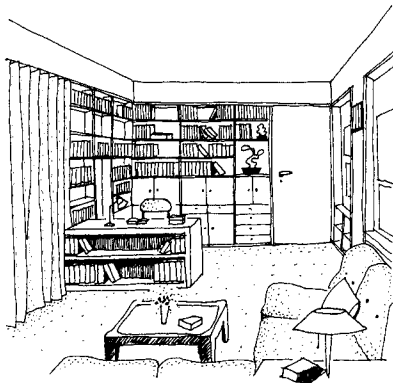
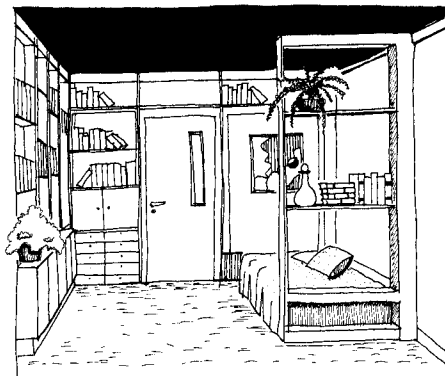
Juga setiap pusat vital manusia memiliki warna masing-masing, misalnya: jantung (hijau), solarplexus (kuning), lambung (oranye), ari-ari (merah), pangkal tenggorok (biru mudah), bagian kemauan (indigo), ujung atas kepala (ungu), dan seterusnya.

Penambahan pengaruh bergairah (dari atas ke bawah)	Penambahan hawa nafsu (dari atas ke bawah)
hijau biru ungu kuning oranye merah	biru hijau ungu merah kuning

Mengenai gaya tarik dan pengaruhnya terhadap masing-masing warna sudah diketahui sejak masa kebudayaan kuno. Hiasan warna-warna mistis, yang digunakan pada istana Mangkunegaran, memiliki arti. Misalnya:

a. Kuning adalah penolak rasa kantuk.
b. Biru adalah penolak rasa sakit/penyakit.
c. Hitam adalah penolak rasa lapar.
d. Hijau adalah penolak rasa angkara murka.
e. Putih adalah penolak rasa birahi.
f. Oranye adalah penolak rasa takut.
g. Merah adalah penolak rasa amarah.
h. Ungu adalah penolak pikiran jahat.[17]

Pada praktek pengetahuan, warna juga dapat dimanfaatkan untuk mengubah atau memperbaiki proporsi ruang secara visual demi peningkatan kenyamanan. Misalnya:

- Langit-langit yang terlalu tinggi dapat 'diturunkan' dengan warna yang hangat dan agak gelap.
- Langit-langit yang agak rendah diberi warna putih atau cerah, yang diikuti oleh 20 cm dari dinding bagian paling atas juga diberi warna putih, yang memberi kesan langit-langit seakan melayang dengan suasana yang sejuk.

Ruang yang rendah dengan langit-langit yang putih

Ruang yang tinggi dengan langit-langit yang agak gelap

17 Soegeng Reksodihardjo et al. *Arsitektur tradisional daerah Jawa Tengah.* Jakarta 1985. hlm. 184.

- Warna-warna yang aktif seperti merah atau oranye pada bidang yang luas memberi kesan memperkecil ruang.
- Ruang yang agak sempit panjang dapat berkesan pendek dengan memberi warna hangat pada dinding bagian muka, sedangkan dapat berkesan panjang dengan menggunakan warna dingin.
- Dinding samping yang putih memberi kesan luas ruang tersebut.
- Dinding tidak seharusnya dari lantai sampai langit-langit diberi warna yang sama. Jikalau dinding bergaris horizontal ruang berkesan terlindung, sedangkan yang bergaris vertikal berkesan lebih tinggi.

Sebagai kesimpulan dapat ditentukan bahwa keseragaman yang monoton adalah racun untuk kenyamanan.[18]

Walaupun demikian harap diperhatikan:

- Tidak memilih bentuk dan warna yang sewenang-wenang atau diterima sesaat saja.
- Membentuk corak seni menurut struktur gedung/penggunaan ruang.
- Mencerminkan pandangan menyeluruh tanpa memberi kesan keseragaman yang monoton.
- Dengan memperhatikan pengaruh proporsi, berarti tinggi ruang masing-masing akan berbeda.

Tugas 3:

Mengisi tabel tentang kualitas kenyamanan ruang tidur yang sedang didiami (halaman 42). Mulai dengan kolom paling kiri dengan penilaian secara material, kemudian penilaian visual dan secara psikis/batiniah (semua barisan abu-abu) dengan memberi tanda silang pada nilai yang dianggap benar. Sesudah itu, mengisi barisan-barisan di antaranya dan akhirnya menilai secara holistis (keseluruhan).

18 Lihat: Tomm, Arwed *Oekologisch Planen und Bauen.* Braunschweig 1992. hlm. 23.

2.3 Keseimbangan dengan alam

Pencarian kesesuaian antara peredaran alam semesta dan tindakan manusia menjadi motivasi dan arah dari semua kegiatan.

Rumah tinggal tradisional di Jawa berdasarkan susunan ruang tertentu yang terdiri dari halaman-halaman terbuka, bangsal terbuka, dan ruang yang agak terbuka dan/atau tertutup. Pada penentuan lokasi gedung tersebut diperhatikan fungsi dan hubungannya dengan alam, seperti matahari, arah angin, arah hujan, aliran air di bawah tanah, dan sebagainya.

Setiap serangan terhadap alam mengakibatkan suatu luka yang mengganggu keseimbangannya. Yang dahulu tugas si kalang,[19] yang dapat disebut sebagai geoman, ialah memugar/memulihkan keseimbangan tersebut. Oleh karena setiap benda memiliki hubungan langsung dengan benda-benda lainnya, maka masuk akal apabila setiap perubahan pada suatu titik tertentu membutuhkan rentetan perubahan peristiwa lain sehingga membutuhkan penyelesaian masalah yang harus dilakukan di dalam batas ruangan rumah tradisional.

Dengan sadar atau tidak sadar manusia telah menghancurkan keseimbangan dengan alamnya sehingga terjadi ketidakseimbangan antara makrokosmos dan mikrokosmos. Seperti manusia dalam lingkungan ilmiah, sebenarnya menjadi spesialis hanya dalam aspek keahliannya tetapi tetap bersatu di dalam wadah kemanusiaan.

Maka pengertian keseimbangan dengan alam mengandung kesatuan makhluk hidup (termasuk manusia) dengan alam sekitarnya secara holistis. Oleh karena itu, di semua kebudayaan terdapat penggunaan aturan-aturan bersifat mistis dan adat istiadat yang berabad. Di samping itu, selalu terdapat tiruan alam seperti struktur ilmu ukur (sebagai

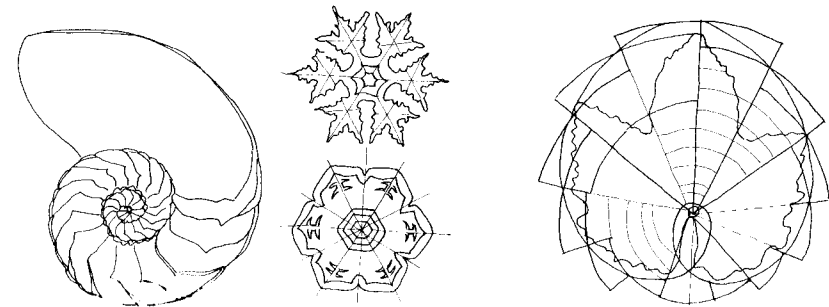
19 Ahli bangunan zaman dahulu yang bekerja pada Sultan, sering juga dinamakan pakuya, sebelum pengaruh Islam adalah kasta orang ahli bangunan (merupakan ahli teknik bangunan maupun ahli metafisik bangunan dan lingkungan).

kristal, kerang, rumah siput, dan sebagainya) dalam pembangunan rumah maupun pada struktur sosial. Kualitas aturan/struktur alam ini bermutu tinggi dan memungkinkan penyelesaian masalah yang tahan lama. Cobalah diterima saran-saran alam tersebut kalau ingin merencanakan suatu struktur/pembangunan yang baru.

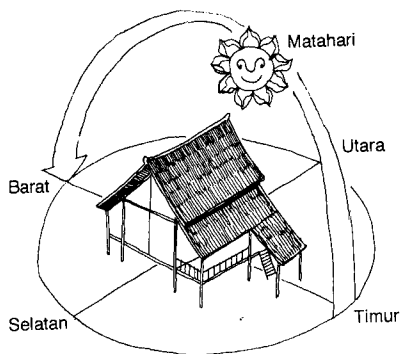
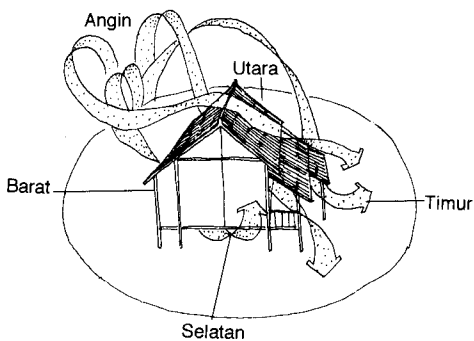
Tugas 4:

Pada susunan keahlian masing-masing seperti terlihat pada gambar di bawah ini gambarkanlah letak kedudukan eko-arsitektur.

			pikiran manusia			
			Psikoanalisis			
		Psikologi	Pedagogi	Kedokteran		
abstrak	Filosofi	Antropologi	Biologi	Fisika	Matematika	nyata
		Astrologi	Geologi dan Geografi	Astronomi		
			Fisika nuklir			
			lingkungan manusia			

Gambar pola struktur alam seperti rumah siput, kristal, atau daun

Alam dan iklim tropis

Pada bagian persyaratan kenyamanan[20] telah dibicarakan persoalan pencahayaan, iklim dan kelembapan, serta kebersihan udara. Dalam rangka persyaratan kenyamanan, masalah yang harus diperhatikan terutama berhubungan dengan ruang dalam. Tentu saja masalah tersebut mendapat pengaruh besar dari alam dan iklim tropis di lingkungan sekitarnya, yaitu sinar matahari dan orientasi bangunan, angin dan pengudaraan ruangan, suhu dan perlindungan terhadap panas, curah hujan dan kelembapan udara.

Sinar matahari dan orientasi bangunan yang ditempatkan tepat di antara lintasan matahari dan angin, serta bentuk denah yang terlindung adalah titik utama dalam peningkatan mutu iklim-mikro yang sudah ada. Dalam hal ini tidak hanya perlu diperhatikan sinar matahari yang mengakibatkan panas saja, melainkan juga arah angin yang memberi kesejukan. Orientasi bangunan terhadap sinar matahari yang paling cocok dan menguntungkan terdapat sebagai kompromi antara letak gedung berarah dari timur ke barat dan yang terletak tegak lurus terhadap arah angin menurut gambar berikut. Kemudian, dalam hal ini gedung yang berbentuk persegi panjang lebih beruntung dari pada gedung yang berbentuk bujur sangkar.

Letak gedung terhadap sinar matahari yang paling menguntungkan bila memilihi arah dari timur ke barat.

Letak gedung terhadap arah angin yang paling menguntungkan bila memilihi arah tegak lurus terhadap arah angin itu.

20 Lihat: Penyelidikan kualitas kenyamanan, hlm. 41-45.

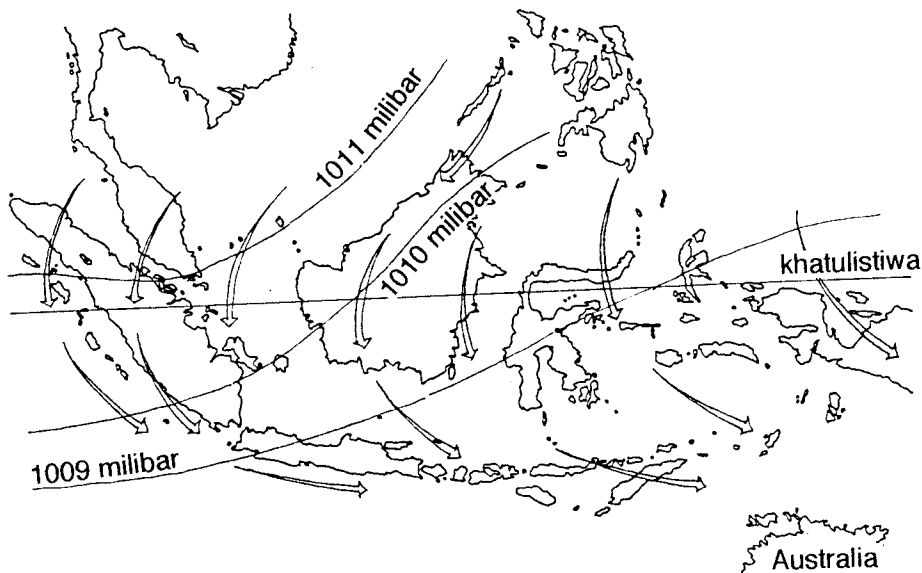
Orientasi yang paling cocok di daerah tropis dekat khatulistiwa adalah suatu kompromi antara kedua arah tersebut di atas.

Angin dan pengudaraan ruangan secara terus-menerus mempersejuk iklim ruangan. Tiupan angin diukur dengan nilai m/s (meter per detik) atau menurut tabel Beaufort[21] pada beberapa tempat tertentu.

Tiupan angin pada beberapa tempat di Pulau Jawa[22]

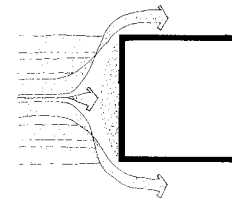
21 Beaufort membagi tiupan angin atas 12 golongan yang dimulai dengan gerakan udara silir-semilir (Beaufort 1), angin sepoi-sepoi (Beaufort 2), angin lemah-lembut (Beaufort 3) s/d badai (Beaufort 12).

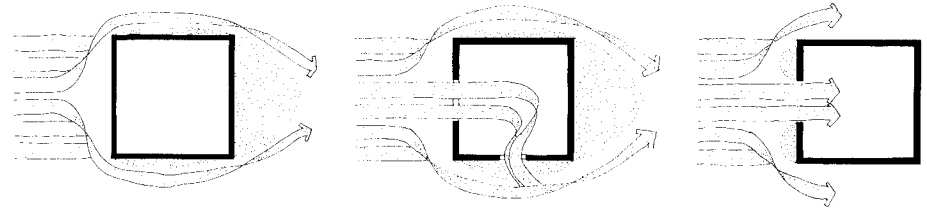
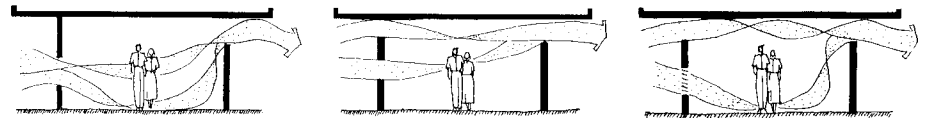
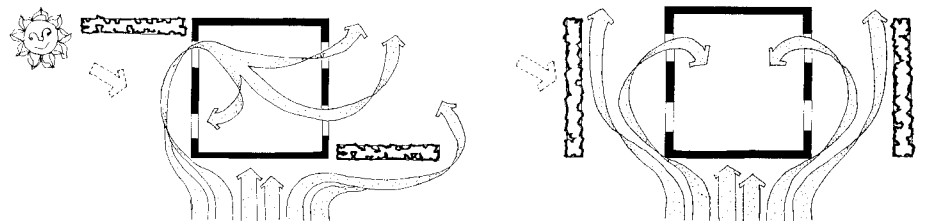
22 Tirtha, Paul *Bauen in feuchttropischen Ländern.* Tesis. Mainz, 1977. hlm. 26.

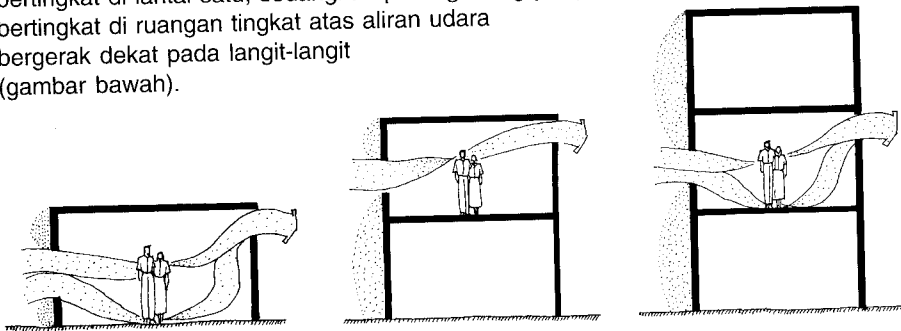
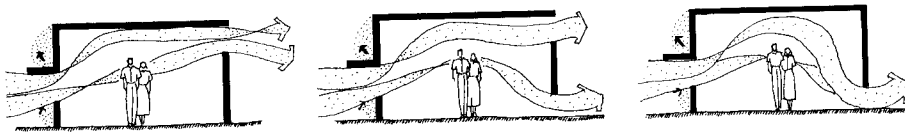
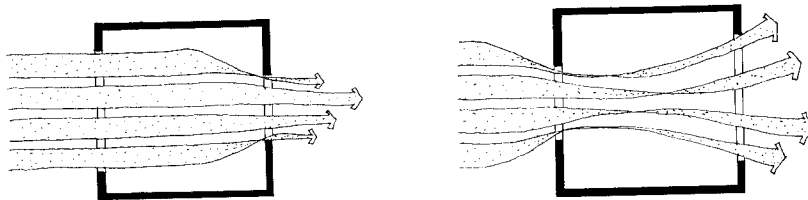
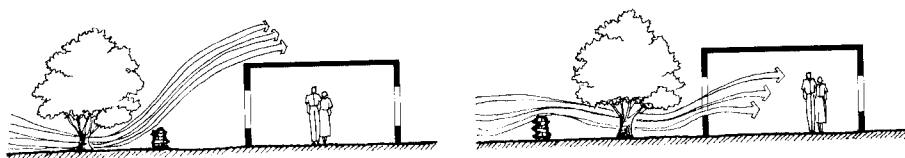
Arah angin yang dominan di Indonesia pada musim kemarau

Arah angin yang dominan di Indonesia pada musim hujan[23]

Udara yang bergerak menghasilkan penyegaran terbaik karena dengan penyegaran tersebut terjadi proses penguapan yang menurunkan suhu

23 menurut: *Atlas Geografi* disiapkan oleh Bagian Pemetaan Oxford University Press. Jakarta 1984. hlm. 9.

pada kulit manusia. Dengan demikian juga dapat digunakan angin untuk mengatur udara di dalam ruang.[24]

Angin yang menerpa sebuah bangunan akan membentuk daerah bertekanan tinggi pada sisi hulu angin (gambar kiri).

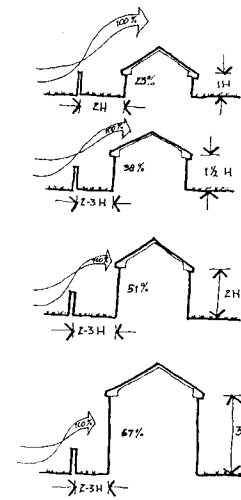
Atas dasar kejadian tersebut angin berhembus mengelilingi bangunan dan membentuk daerah bertekanan rendah pada sisi samping dan sisi hilir angin. Memperhatikan bahwa aliran udara tidak selalu mencari jalan terpendek (gambar bawah).

Kondisi tekanan yang berbeda pada kedua sisi lubang masuk aliran udara, akan membelok mencari jalan lain. Berarti bergesernya lubang masuk udara pada satu sisi mengubah kondisi tekanan masing-masing (gambar bawah).

Di samping aliran udara yang bergerak, timbul juga pengaruh silau oleh sinar matahari yang juga perlu diperhatikan. Sebaiknya silau tersebut dihindari dengan pengadaan tanaman (gambar bawah).

24 Menurut Reed, Robert H. *Design for Natural Ventilation in Hot Humid Weather.* Texas 1953. Di dalam Lippsmeier, Georg. *Bangunan tropis.* edisi ke-2. Jakarta 1994. hlm. 102-106.

Pada rumah yang tidak bertingkat, aliran udara bergerak pada ketinggian tubuh manusia. Demikian pula terjadi pada gedung yang bertingkat di lantai satu, sedangkan pada gedung yang bertingkat di ruangan tingkat atas aliran udara bergerak dekat pada langit-langit (gambar bawah).

Seperti pada denah, pengaruh elemen peneduh mengakibatkan kondisi tekanan yang berbeda pada kedua sisi lubang masuk udara. Letak lubang masuk udara selalu mempengaruhi aliran udara, sedangkan letak lubang keluar tidak begitu penting (gambar bawah).

Kecepatan aliran udara mempengaruhi penyegaran udara. Jikalau lubang masuk udara lebih besar dari pada lubang keluarnya, maka kecepatan aliran udara akan berkurang, sebaliknya kalau lubang keluar udara lebih besar, kecepatan aliran udara akan makin kuat (gambar bawah).

Pemanfaatan pohon serta semak-semak merupakan cara alamiah untuk memberi perlindungan terhadap sinar matahari maupun untuk menyegarkan dan menyalurkan aliran udara, terutama pada gedung yang rendah (gambar bawah).

Penyegaran udara di dalam ruangan, di samping tergantung terhadap pergerakan udara, juga pada pertukaran udara, yang di daerah tropis sangat berhubungan dengan kesehatan yang cukup tinggi.[25]

Ruang	Penukaran udara minimal
Kamar keluarga dan kamar tidur	20 kali isi ruang/jam
Ruang bergerak	10 kali isi ruang/jam
Dapur	100 kali isi ruang/jam
Kamar mandi / WC	40 kali isi ruang/jam

Tentu saja penyegaran udara di dalam ruangan seperti terwujud pada tabel di atas dapat dilakukan baik dengan gerakan udara secara alamiah maupun dengan penyejuk udara secara buatan (ventilasi).

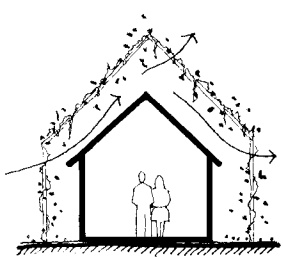
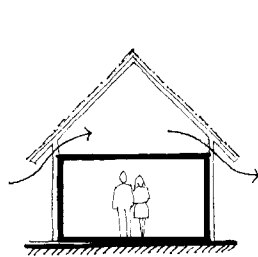
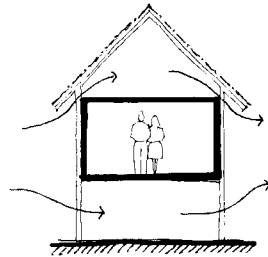
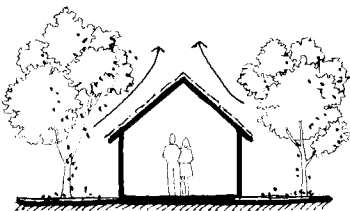
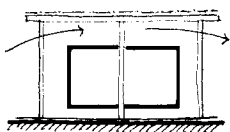
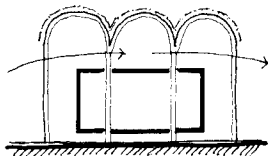
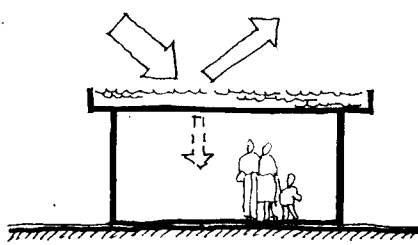
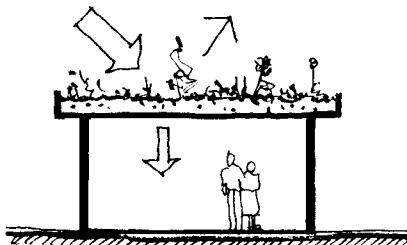
Angin berbeda-beda menurut tingginya dari atas permukaan bumi dan menurut keadaan rata tidaknya permukaan bumi. Makin kasar permukaan bumi, makin tebal lapisan udara yang melekat dan kurang bergerak. Dengan begitu topografi yang tidak rata, tumbuh-tumbuhan alam, atau gedung-gedung mengurangi kecepatan angin pada lapisan di dekat permukaan bumi. Hal ini berarti bahwa di dalam kota besar kecepatan angin hanya sepertiga dari kecepatan angin di kawasan terbuka.[26]

Pengaruh pagar terhadap terpaan angin

JARAK	% ANGIN PD BANGUNAN
1 H	26%
3 H	28%
4 H	36
5 H	42
6 H	46
8 H	54
10 H	62
1 H	42
4 H	43
5 H	47
6 H	51
8 H	58
10 H	66
1 H	54
4 H	55
5 H	57
6 H	59
8 H	64
10 H	70
1 H	69
4 H	68
5 H	69
6 H	70
8 H	73
10 H	77

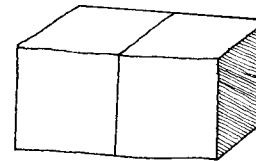
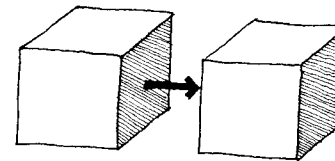
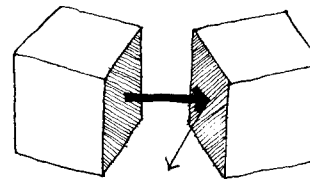
Cumatic Desain → Donald Waston Faia and Kenneth Labs. McHill Book Company p. 86

25 Menurut: Hungerbühler, Ruedi. *Konstruktion im Hochbau.* Jilid 1. Dietikon 1979. halaman 83; serta: Lirtha, Paul. *op.cit.* hlm. 30.

26 Lihat juga: Lirtha, Paul. *op.cit.* hlm. 27.

Suhu dan perlindungan terhadap panas. Pengaruh dari suhu terhadap ruangan dapat diatur dengan konstruksi atap yang, selain melindungi manusia terhadap cuaca, juga memberi perlindungan terhadap radiasi panas dengan sistem penyejuk udara secara alamiah.[27]

Konstruksi pelindung alami melindungi gedung dari sinar panas.

Konstruksi atap kampung luar melindungi inti gedung dari sinar panas.

Konstruksi atap yang tinggi melindungi rumah panggung dari sinar panas.

Pepohonan melindungi gedung dari sinar panas.

Konstruksi atap datar luar melindungi inti gedung dari sinar panas.

Konstruksi atap lengkung luar melindungi inti gedung dari sinar panas.

Kolam air atau lapisan tanah pada atap datar, melindungi gedung dari sinar panas.

27 Frick, Heinz/Purwanto, LMF. *Sistem bentuk struktur bangunan*. Seri konstruksi arsitektur 1 (draft). hlm. 116; serta: Cofaigh, Eoin O. *The climatic dwelling*. London 1996. hlm 16

Untuk menyejukkan udara dalam rumah beratap datar dapat juga digunakan sistem kolam air (*roof pond*) yang menerima panasnya sinar matahari dan mengembalikannya pada waktu malam. Sistem yang agak mirip adalah lapisan tanah di atas atap datar yang ditanami rumput (atau gelang tanah) yang tahan musim kering.

Pengaruh dari suhu terhadap ruangan dapat diatur juga dengan memperhatikan letak, bentuk, dan lapisan permukaan gedung karena bidang yang kurang panas selalu mau menerima panas dari bidang yang lebih panas seperti terlihat pada gambar berikut:[28]

Penukaran panas maksimal terdapat jika benda hangat rapat dengan benda dingin.

Penukaran panas berkurang jika diadakan jarak antara benda hangat dan benda dingin. Makin besar jarak, makin lambat penukaran panas (mis. matahari dan jalan aspal).

Penukaran panas dapat diperkurang lagi dengan memberi jarak yang tidak tegak lurus antara benda hangat dan benda dingin (mis. matahari dan atap rumah).

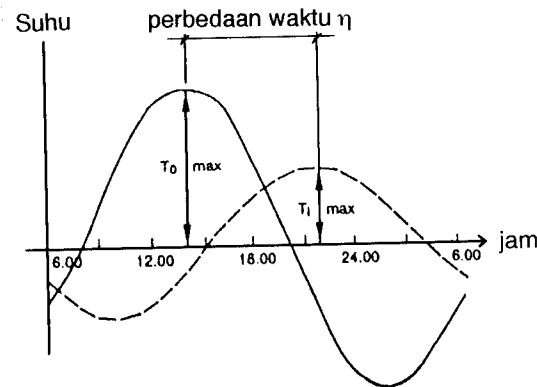
Hal yang sama terjadi antara dua benda (lewat udara) maupun antara dua permukaan dinding (lewat tembok), dimana benda hangat berupa udara yang hangat oleh radiasi matahari dan benda dingin berupa udara di dalam rumah.

Penukaran panas pada lapisan bidang permukaan luar gedung dapat juga dipengaruhi dengan memperhatikan faktor pantulan dan penyerapan sinar panas.[29]

28 menurut: Gut, Paul/Ackerknecht, Dieter. *Climate responsive building*. St. Gallen 1993. hlm. 52.

29 menurut Lippsmeier, Georg. *op.cit.* hlm. 32, serta: Tirtha, Paul. *op.cit.* hlm. 42, 44.

Bahan dan keadaan permukaan		penyerapan	pemantulan
Lingkungan alam	rumput tanah, ladang pasir perak	80 % 70-85 % 70-90 %	20 % 30-15 % 30-10 %
Dinding kayu	warna muda warna tua	40-60 % 85 %	60-40 % 15 %
Dinding batu	marmer batu bata merah beton exposed	40-50 % 60-75 % 60-70 %	60-50 % 40-25 % 40-30 %
Lapisan atap	semen-berserat genting flam genting beton seng gelombang seng aluminium	60-80 % 60-75 % 50-70 % 65-90 % 10-60 %	40-20 % 40-25 % 50-30 % 35-10 % 90-40 %
Lapisan cat	kapur putih kuning merah mudah hijau mudah aspal hitam	10-20 % 50 % 65-75 % 50-60 % 85-95 %	90-80 % 50 % 35-25 % 50-40 % 15-5 %

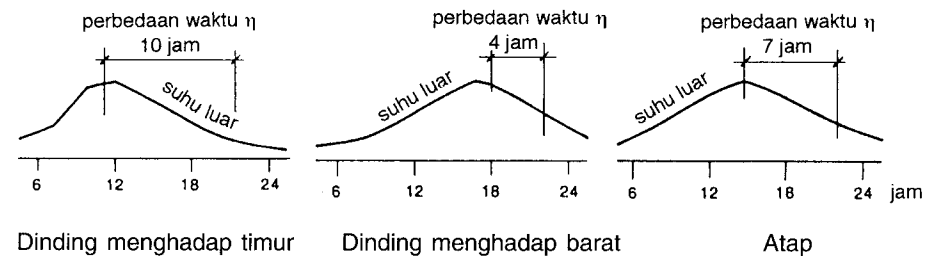
Oleh karena penukaran panas diserap oleh bagian dinding luar, maka akan menghangatkan juga permukaan dinding dalam sesudah beberapa waktu menurut daya serap panas dan tebalnya dinding.[30]

Waktu antara suhu tertinggi di bagian penutup dinding luar (T_o) dan suhu tertinggi di bagian dinding dalam (T_i) dinamakan perbedaan waktu η. Perbedaan waktu tersebut sangat mempengaruhi iklim-mikro dan suhu dalam ruangan. Menurut jenis bahan dan tebalnya dinding dapat ditentukan perbedaan waktu η tersebut sebagai berikut.[31]

30 Gambar menurut: Gut/Ackerknecht. *op.cit.* hlm. 55.

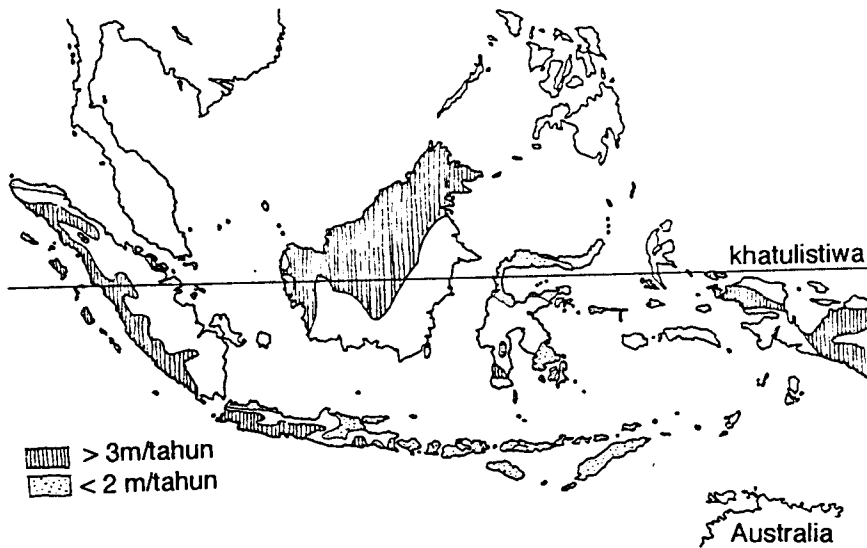
31 Menurut: Tirtha, Paul. *op.cit.* hlm. 43.

Bahan bangunan	tebalnya dinding	perbedaan waktu η
Dinding batu alam	20 cm 30 cm 40 cm	5.5 jam 8.0 jam 10.5 jam
Dinding beton	10 cm 15 cm 20 cm	2.5 jam 3.8 jam 5.1 jam
Dinding batu-bata	10 cm 20 cm 30 cm	2.3 jam 5.5 jam 8.5 jam
Dinding kayu	2.5 cm 5 cm	0.5 jam 1.3 jam

Perbedaan waktu yang diinginkan berbeda menurut orientasi dinding juga. Pada umumnya kita memilih perbedaan waktu sedemikian sehingga tembusnya radiasi panas jatuh pada waktu malam sehingga panasnya dapat diventilasi ke luar rumah dengan mudah.

Dinding menghadap timur   Dinding menghadap barat   Atap

Curah hujan dan kelembapan udara adalah faktor penting yang perlu diperhatikan terhadap keseimbangan alam dengan desain tropis. Kadar kelembapan udara tergantung pada curah hujan dan suhu udara. Semakin tinggi suhu, semakin tinggi pula kemampuan udara menyerap air.

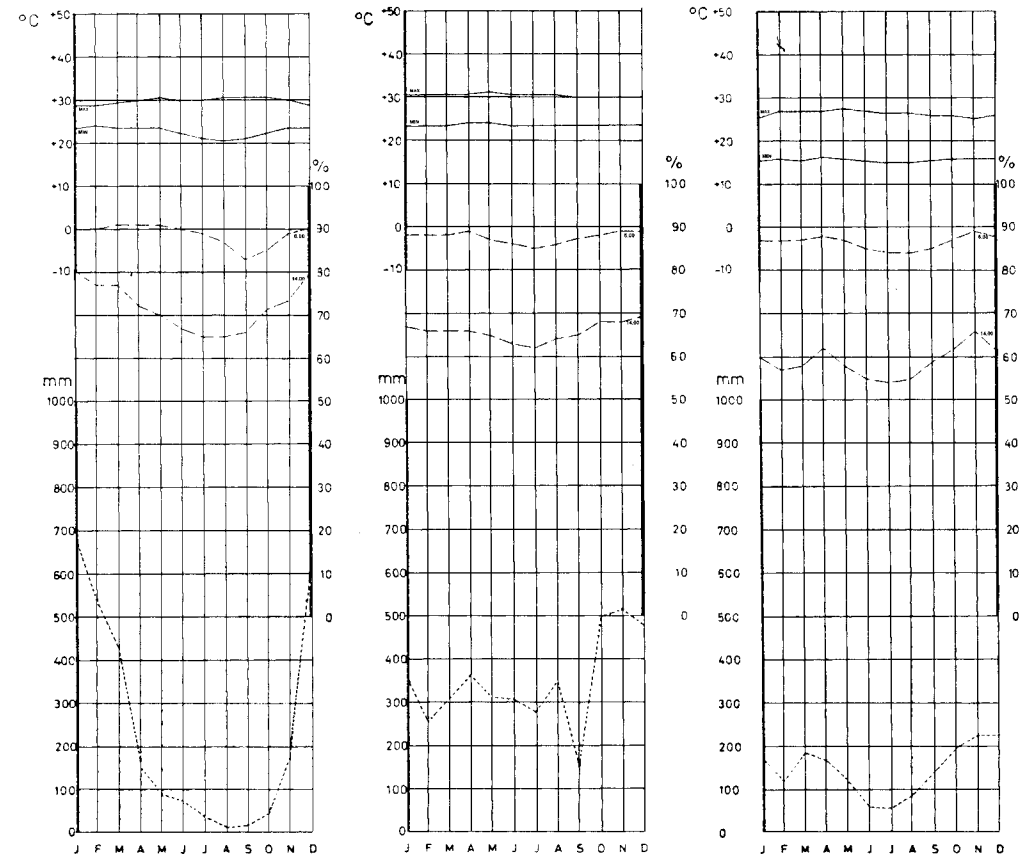
Curah hujan di kepulauan Indonesia tidak seragam karena ada daerah dengan iklim musim lembap (*tropical monsoon*), iklim panas basah (*humid zones*), iklim pegunungan tropis (*highland zones*), dan ilkim sabana tropis (*tropical savannah*), seperti terlihat pada peta curah hujan tahunan di Indonesia[32] pada halaman berikut.

32 Menurut *Atlas Geografi. op.cit.* hlm. 9.

Curah hujan tahunan di Indonesia

Semua informasi mengenai cuaca dapat diisi dalam tabel sebagai sumber seperti contoh berikut.[33]

Bulan	Suhu °C			Hujan	Kelembapan		Angin		Kondisi langit		
	tinggi	rendah	rata-rata	mm	pagi %	sore %	arah	m/detik	hari cerah	50 % awan	100 % awan
Januari	29.3	24.9	27.1	487	92	89	BL	0.31	18	12	1
Februari	29.2	25.2	27.2	332	95	91	BL	0.31	19	8	1
Maret	29.1	25.3	27.2	198	98	93	BL	0.15	17	13	1
April	30.6	25.6	28.1	207	90	85	T	0.20	19	11	-
Mei	30.8	25.8	28.1	97	83	76	T	0.26	21	10	-
Juni	30.9	23.9	27.4	23	75	67	T	0.26	22	8	-
Juli	30.8	22.8	26.8	39	84	76	T	0.26	25	6	-
Agustus	30.6	23.6	27.1	17	91	86	T	0.26	27	4	-
September	30.4	26.0	28.2	21	98	93	T	0.26	26	4	-
Oktober	30.2	28.2	29.2	27	95	91	T	0.20	24	7	-
November	30.2	28.8	29.5	62	92	89	BL	0.15	20	10	-
Desember	29.6	26.6	28.1	331	90	87	BL	0.20	15	14	2

33 Isinya tabel yang fiktif saja (sebagai contoh).

Sebagai contoh intensitas curah hujan, kelembapan, dan suhu pada setiap iklim dapat diperhatikan intensitas seperti di Ujung Pandang (2 mdpl), Padang (7 mdpl), dan Takengon, Sumatra (1'186 mdpl).[34]

Ujung Pandang, Sulsel iklim panas basah
Padang, Sumut iklim musim lembap
Takengon, D.I. Aceh iklim pegunungan tropis

——— suhu maksimal dan suhu minimal per bulan
— — — kelembapan udara jam 06.00 pagi (atas) dan 14.00 siang (bawah)
- - - - - curah hujan dalam mm per bulan

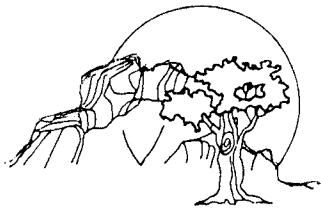
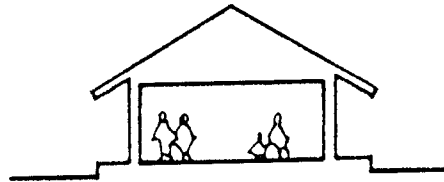
Pulau Jawa pada prinsipnya dibagi dua: bagian barat memiliki iklim musim lembap yang menerima hujan antara 1'770 mm/tahun (Jakarta) dan 3'749 mm/tahun (Bogor), sedangkan bagian timur memiliki iklim sabana tropis dengan curah hujan antara 1'650 mm/tahun (Surabaya) dan 1'896 mm/tahun (Jember).[35]

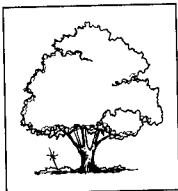
34 Lippsmeier, Georg. *Tropenbau – Building in the tropics.* München 1969. halaman 43, 46, 53.

35 Unesco. *Climate and school building design in Java.* Bangkok 1963. hlm. 4.

Banyaknya air hujan yang mengenai atap dapat dihitung atas dasar ketentuan bahwa air hujan yang berlimpah biasanya adalah 0.6 – 1.6 mm/m^2. menit, tetapi yang paling hebat diukur di Jakarta pada tahun 1945 dengan 2.52 mm/m^2. menit (2.52 liter/m^2. menit) pada setiap m^2 permukaan bumi.[36]

2.4 Alam sebagai pola perencanaan

Struktur-struktur alam selalu terbentuk sebagai peredaran alam. Sebuah rumah adalah buatan manusia; walaupun demikian, menurut paham orang Jawa rumah dianggap memiliki wahyu.[37] Berarti rumah juga jadi organisme alam, seperti ada anggapan bahwa seluruh dunia juga jadi organisme (hipotesis Gaia[38]). Organisme alam yang mengalami kelahiran, kehidupan, dan kematian sebagai konsep mikrokosmos yang meniru makrokosmos yang tidak terhingga.[39]

Lingkungan alam sebagai makrokosmos

Lingkungan buatan (rumah) sebagai mikrokosmos

Alam sebagai pola perencanaan eko-arsitektur yang holistis kemudian dapat disimpulkan dengan persyaratan berikut:

Penyesuaian pada lingkungan alam setempat[40]
Dampak positif terhadap lingkungan yang dapat dicapai oleh arsitektur ekologis makin besar, makin banyak tuntutan ekologis pada tempat tertentu dapat diperoleh.

36 UNESCO. *op.cit.* hlm. 4.

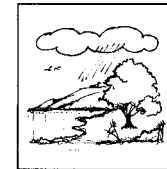
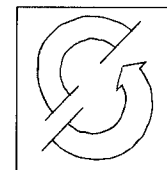
37 lihat juga: bab 1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur. hlm. 17-18.

38 lihat keterangan pada bab 1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur. hlm. 26-27.

39 Frick, Heinz. *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia.* Yogyakarta 1997. hlm. 95-97.

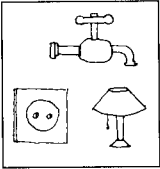
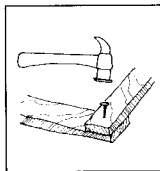
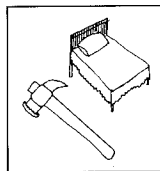
40 lihat juga bab 1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur. hlm. 17-19, 27; serta: bab 2.3 Keseimbangan dengan alam, hlm. 54-55.

Persyaratan yang menguntungkan adalah konsep tata kampung atau tata kota dalam skala yang cukup luas. Sebuah rumah ekologis di antara 500 rumah yang biasa saja memberi efek terhadap lingkungan yang kurang menguntungkannya. Manusia selalu merupakan bagian dari lingkungannya.

Menghemat sumber energi alam yang tidak dapat diperbarui dan mengirit penggunaan energi[41]
Energi yang dapat diperbarui berhubungan dengan teknologi baru kurang membebani lingkungan alam jika dibandingkan dengan sumber energi yang terbatas. Penggunaan energi surya (air panas, listrik), angin (penyejukan udara, listrik, pompa air), arus air sungai (pengairan, listrik), atau ombak laut (listrik) dapat diintegrasikan dalam proyek eko-arsitektur.

Memelihara sumber lingkungan (udara, tanah, air)[42]
Setiap kegiatan manusia, apakah membangun rumah atau menjalankan kendaraan bermotor, merusak sebagian dari lingkungannya dan mencemari udara (gas buangan, asap, kebisingan), tanah (jalan raya dan gedung mengganti lahan rumput), dan air (pencemaran udara mengakibatkan air hujan asap, perembesan air kotor mencemari sumber air minum).

Memelihara dan memperbaiki peredaran alam[43]
Karena semua ekosistem dapat dimengerti sebagai peredaran alam, harus diperhatikan supaya kegiatan manusia jangan merusaknya. Semua kegiatan baru seperti misalnya menggunakan bahan bangunan untuk membangun rumah harus dilakukan sedemikian rupa sehingga rantai bahannya berfungsi juga sebagai peredaran.

41 Lihat juga: bab 1.4 Unsur pokok eko-arsitektur, hlm. 32-33.

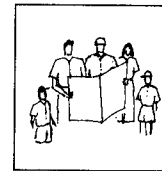
42 Lihat juga: bab 1.4 Unsur pokok eko-arsitektur, hlm. 31-32.

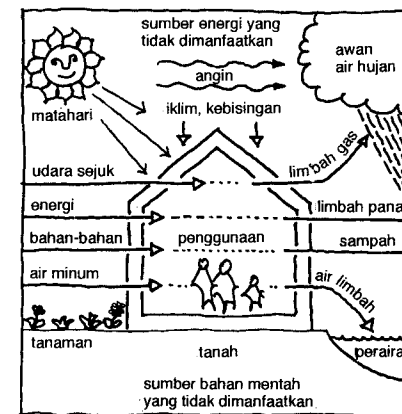
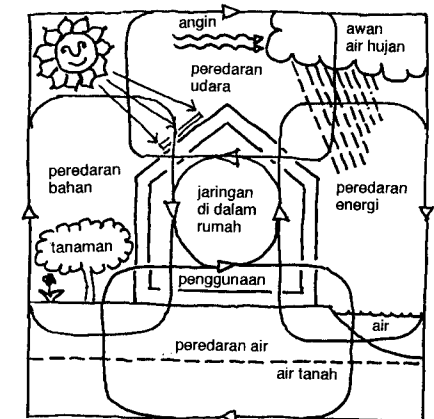
43 Lihat juga: bab 1.2 Aliran dalam ekosistem, hlm 11-12; bab 1.4 Unsur pokok eko-arsitektur, hlm 29-30; bab 2.3 Keseimbangan dengan alam, hlm 54-55; serta: bab 4.3 Peredaran bahan dan rantai bahan, hlm 113-116.

Mengurangi ketergantungan pada sistem pusat energi (listrik, air) dan limbah (air limbah, sampah)[44]
Setiap jaringan energi seperti listrik atau air minum membutuhkan banyak energi dalam persediaan dan mengakibatkan banyak kerugian (misalnya kebocoran jaringan air di kota Semarang mengakibatkan kehilangan air minum sebesar ± 50%). Pembuangan air limbah/ kotor dan sampah di Indonesia belum teratur sehingga mengancam lingkungan alam dan sumber air minum. Jika energi dibangkitkan pada tempat (misalnya energi surya) dan air limbah diolah langsung dan secara alami, ketergantungan dan kehilangan (*transmission loss*) dapat dicegah.

Penghuni ikut serta secara aktif pada perencanaan, pembangunan, dan pemeliharaan perumahan[45]
Penghuni harus berpartisipasi dalam perencanaan, pembangunan, dan tata laksana perumahannya. Dengan begitu, mereka mempengaruhi dan menciptakan dasar-dasar hidup kemasyarakatan yang individual dan tenteram. Penghuni yang tidak dapat kesempatan tersebut sulit sekali mempelajari tanggung jawabnya dalam wilayah perumahannya.

Tempat kerja dan pemukiman dekat[46]
Setiap kebutuhan atas mobilitas menambah lalu lintas. Penambahan lalu lintas yang paling padat di Indonesia adalah lalu lintas bermotor, yang membutuhkan banyak lahan yang subur (yang menjadi jalan dan jalan raya), mencemari udara (gas buangan mobil mengakibatkan kanker) dan menambah kebisingan (mengakibatkan stres dan keadaan tuli), sehingga eko-arsitektur merencanakan kawasan di mana tempat kerja dan pemukiman dekat sehingga dapat ditempuh dengan berjalan kaki atau mengendarai sepeda.

44 Lihat juga: bab 2. Perencanaan eko-arsitektur, hlm. 36-38.

45 Lihat juga: Turner, John F.C. *Housing by people. Towards Autonomy in Building Environments.* edisi ke-3. London 1991. hlm. 16.

46 Frick, Heinz. *Arsitektur dan Lingkungan.* edisi ke-2. Yogyakarta 1991. hlm. 50

Kemungkinan penghuni menghasilkan sendiri kebutuhannya sehari-hari[47]
Dengan memanfaatkan pekarangan sayur/taman gizi penghuni menghasilkan kebutuhan sehari-hari yang sehat (kurang mengandung pestisida dan insektisida). Di samping mendukung kesehatan, juga melestarikan lingkungan karena mengurangi kebutuhan mobilitas.

Menggunakan teknologi sederhana[48]
Dampak buruk dan negatif teknologi dapat diatasi dengan penggunaan dan pemanfaatan teknologi sederhana (*intermediate technology*), teknologi alternatif, atau teknologi lunak daripada teknologi *high-tech* yang juga diartikan sebagai teknologi keras.

Pembangunan secara ekologis berarti pemanfaatan prinsip-prinsip ekologis pada perencanaan lingkungan buatan. Pada pembangunan biasa seluruh gedung berfungsi sebagai sistem yang memintas, yang mengurangi kualitas lingkungan (*pass through system*). Akan tetapi, baik rumah maupun pedesaan harus dianggap sebagai ekosistem (peredaran) yang berhubungan erat pada peredaran alam (hukum alam) sebagai berikut.[49]

Rumah biasa

Rumah bersifat ekologis

47 Lihat juga: Frick, Heinz. *Rumah sederhana. Kebijaksanaan, Perencanaan, Konstruksi.* Yogyakarta 1984. hlm. 95-97.

48 Lihat juga: bab 3.3 Teknologi konstruksi bangunan. halaman 97-100; serta: Frick, Heinz. *Arsitektur dan Lingkungan. op.cit.* hlm. 14-15.

49 menurut: Krusche, Per et al. *Oekologisches Bauen. op cit.* hlm. 20.

Pola perencanaan eko-arsitektur selalu memanfaatkan peredaran alam sebagai berikut:

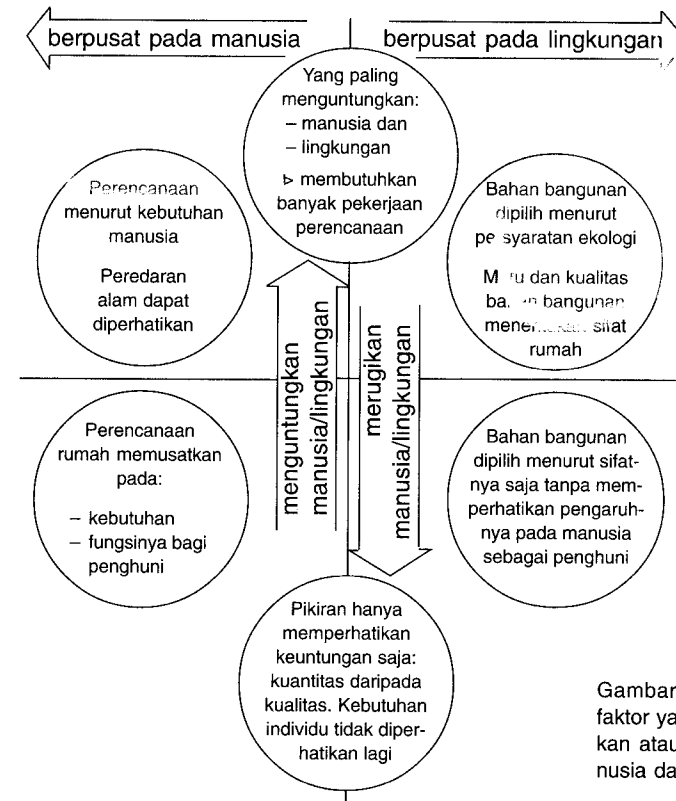
- Intensitas energi baik yang terkandung dalam bahan bangunan maupun yang digunakan pada saat pembangunan harus seminimal mungkin.
- Kulit (dinding dan atap) sebuah gedung, sesuai dengan tugasnya, harus melindungi dirinya dari sinar panas, angin, dan hujan.
- Rumah sebaiknya diarahkan menurut orientasi timur-barat dengan bagian utara/selatan menerima cahaya alam tanpa kesilauan.
- Dinding rumah harus memberi perlindungan terhadap panas. Daya serap panas dan tebalnya dinding harus sesuai dengan kebutuhan iklim ruang dalamnya. Rumah yang memperhatikan penyegaran udara secara alami bisa menghemat banyak energi.
- Rumah-rumah sebaiknya dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menggunakan penyegaran udara secara alamiah dan memanfaatkan angin sepoi-sepoi untuk membuat ruangan rumah tersebut menjadi sejuk.
- Semua gedung harus bisa mengadakan regenerasi dari segala bahan bangunan, bahan limbah, dan mudah dipelihara. Hal ini berarti bahwa semua limbah dan sampah dapat diregenerasi dalam suatu kelompok gedung (kampung), misalnya. Bahan bangunan mesti dapat diperbarui dan pondasi serta kerangka gedung seharusnya dapat dipergunakan ratusan tahun dengan penggunaan yang berbeda-beda menurut kebutuhan.
- Semua syarat tersebut di atas harus dimanfaatkan sedemikian rupa sehingga perencanaan dan pembangunan gedung tetangga tidak mengalami halangan apa pun jika tetangga ingin membangun dengan syarat yang sama.[50]

Maka perencanaan ekologis dapat digambarkan sebagai berikut:[51]

Bagian yang terletak di sebelah kiri dari sumbu vertikal, titik beratnya terletak pada manusia dan yang terletak di sebelah kanan dari sumbu tersebut, titik beratnya terletak pada lingkungan alam. Pada sumbu

50 menurut: Kelbaugh, Dough. *Die Natur als Entwurfsmodell.* Dalam: Schwarz, Ullrich (ed.) *Grünes Bauen – Ansätze einer Öko-Architektur.* Reinbek bei Hamburg 1982. hlm. 64-68.

51 menurut: Studer, Heinz. *Baustoffkunde, Bauphysik, Bauchemie.* TS Hochbau, Catatan kuliah WS 88/89. Basel 1988. hlm. 2.

horizontal di sebelah atas terdapat faktor-faktor yang menguntungkan manusia dan lingkungan alam dan di sebelah bawah terletak faktor-faktor yang merugikan manusia dan lingkungannya.

Gambar tentang faktor-faktor yang menguntungkan atau merugikan manusia dan lingkungannya

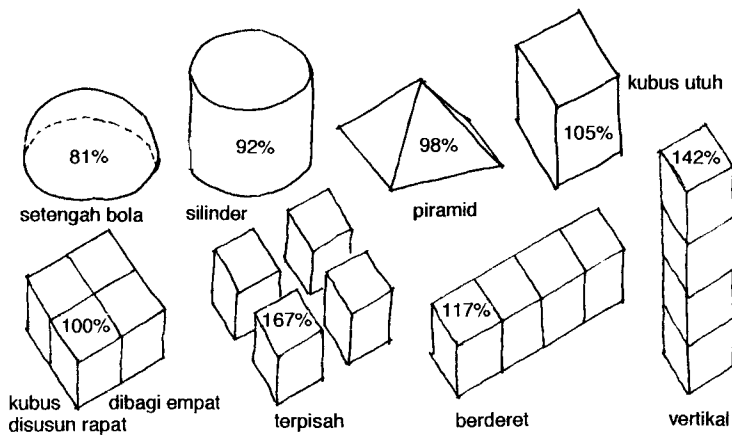
Tujuan utama adalah merencanakan pemukiman/kawasan perumahan (papan) yang otonom dalam menyediakan energi, air, dan bahan makanan (pangan).

Reintegrasi kebiasaan kehidupan yang makin lama makin terpisah-pisah (pemukiman, produksi, konsumsi, hiburan, dan peristirahatan) pada pemukiman/daerah perumahan harus ditingkatkan. Akibat reintegrasi tersebut di atas adalah perkembangan baru, dalam tata kemasyarakatan maupun dalam perencanaan ruang.

Prinsip-prinsip perencanaan ekologis tentu saja harus meninjau situasi dan memperhatikan batasan-batasan yang ada dalam bidang

masyarakat, politik, ekonomi, dan penggunaan ruang sebagai berikut:

- Sedapat mungkin diupayakan agar diadakan struktur masyarakat dan penggunaan ruang tidak mengalami perubahan.
- Persyaratan mutlak kegiatan ekonomi, terutama pembagian kerja dan pertukaran kerja, tidak akan diganggu.
- Penggunaan ruang/lahan sebagai tempat pertanian, pedesaan, dan perkotaan yang memiliki hubungan timbal balik akan dipertahankan.
- Adat istiadat, tingkah laku, dan gaya hidup masyarakat tidak akan diubah.

Prinsip perencanaan yang sesuai dengan tuntutan ekologis

Perencanaan eko-arsitektur dan dukungannya dari masyarakat tergantung selain bentuk dan isinya pada keadaan lingkungan alam dan pencemarannya serta keinginan masyarakat untuk mengubah keadaan yang kurang memuaskan. Atas dasar syarat-syarat tersebut maka tujuan utama perencanaan secara ekologis dapat dicapai dengan memperhatikan subtujuan seperti terlihat pada tabel halaman berikut yang mengutamakan cara membangun yang menghemat energi dan bahan baku.[52]

52 Albrecht, Rainer/Rehberg, Siegfried. *Der volkswirtschaftliche Nutzen ökologisch orientierten Bauens und Wohnens.* Dalam: Schwarz, Ulrich (ed.) *Grünes Bauen – Ansätze einer Öko-Architektur.* Reinbek bei Hamburg 1982. hlm. 76.

Cara membangun yang menghemat energi dan bahan baku:

Prinsip	Cara
Perhatian pada iklim setempat	Penggunaan tumbuhan dan air sebagai pengatur iklim
	Orientasi terhadap sinar matahari dan angin
	Penyesuaian pada perubahan suhu siang-malam
Substitusi sumber energi yang tidak dapat diperbarui	Minimalisasi penggunaan energi untuk alat pendingin
	Optimalisasi pada penggunaan sumber energi yang tidak dapat diperbarui
	Usaha memajukan penggunaan energi alternatif
	Penggunaan energi surya
Penggunaan bahan bangunan yang dapat dibudidayakan dan yang menghemat energi	Pilihan bahan bangunan menurut penggunaan energi
	Minimalisasi penggunaan sumber bahan yang tidak dapat diperbaharui
	Penggunaan kembali sisa-sisa bahan bangunan (limbah)
	Optimalisasi penggunaan bahan bangunan yang dapat dibudidayakan
Pembentukan perdaran yang utuh di antara penyediaan dan pembuangan bahan bangunan, energi, dan air	Gas kotor, limbah air, sampah dihindari sejauh mungkin
	Perhatian pada bahan mentah dan sampah yang tercemar
	Perhatian pada peredaran air minum dan limbah air
	Perhatian pada pangan, banyaknya sampah, dan air limbah
Penggunaan teknologi tepat guna yang manusiawi	Produksi yang sesuai dengan teknologi pertukangan
	Mudah dirawat dan dipelihara (dapat dibuat sendiri)
	Memanfaatkan/menggunakan kembali bahan bangunan bekas pakai

Tujuan:

- pembangunan yang menghemat energi
- menghemat sumber energi yang tidak dapat diperbarui
- menghemat sumber bahan mentah yang tidak dapat diperbarui
- menghemat sumber alam (udara, air, dan tanah)
- menghemat hasil produk di bidang bangunan

Tanam-tanaman dalam lingkungan kota

Penghijauan di lingkungan kota meningkatkan kualitas kehidupan dalam kota karena manusia dapat hidup erat dengan alam (melihat tumbuhan tanaman, burung dan binatang lain serta dapat mengerti fungsi ekosistem). Kota yang memiliki keteduhan dengan banyak pohon besar yang rindang dapat mengurangi lalu lintas bermotor (karena penduduk lebih bersedia berjalan kaki, serta kurang berkehendak untuk beristirahat di luar kota atau di tempat hiburan besar).

Di samping hal-hal tersebut, penghijauan di lingkungan kota meningkatkan produksi oksigen yang menguntungkan kehidupan sehat bagi manusia, mengurangi pencemaran udara, serta meningkatkan kualitas iklim mikro.

Tanam-tanaman menerima air hujan, mengikatnya di dalam tanah, dan kemudian menguapnya kembali. Dengan demikian, tanaman tersebut ikut dalam pengolahan air hujan dan melindungi lereng gunung terhadap tanah longsor.

Sebagai tanaman biasa, tanaman di atas atap atau penghijauan dinding tanam-tanaman mengurangi debu (pencemaran udara) dan menurunkan suhu oleh penguapan air tersebut.

Hasil tanam-tanaman sebagai peningkat kualitas lingkungan kota[53]

	1 pohon berumur ± 100 tahun	Tanam-tanaman seluas 1 hektar
Produksi oksigen	1.7 kg/jam	600 kg/hari
Penerimaan karbondioksida	2.35 kg/jam	900 kg/hari
Zat arang yang terikat	6 ton	–
Penyaringan debu	–	sampai 85%
Penguapan air	500 liter/hari	–
Penurunan suhu	–	sampai 4 °C

Tanam-tanaman dapat dibagi atas:

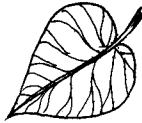
- *penutup tanah*, tumbuhan jenis ilalang dan rumput-rumputan;
- *semak belukar* dan tanaman hias berbunga; serta
- *pohon-pohon*, bambu dan tanaman peneduh yang lain.

53 Böhme, Gerhard/Cochet, Hervé/Jutrcenki, Joachim von. *Grün hilft sparen.* Bonn 1985. Disempurnakan oleh: Condreau, V. *Mehr Pflanzen im Siedlungsraum.* Zürich 1986. hlm. 5.

Penutup tanah adalah tumbuh-tumbuhan yang melindungi permukaan tanah dari terik matahari sehingga tidak terlalu cepat kering dan berdebu. Penghijauan tanah sebagai rumput-rumputan dapat dimanfaatkan sebagai makanan ternak, sedangkan tanaman berdaun yang menjalar seperti bermacam-macam suru dan sebagainya menghijaukan dengan berbagai warna hijau dan membutuhkan sedikit pemeliharaan saja. Penutup tanah yang menghasilkan kesuburan tanah adalah mimosa (putri malu) atau kacang tanah. Mimosa sanggup menghancurkan tanah batuan yang keras sehingga menjadi tanaman perintis.

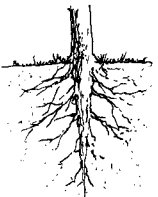
Semak belukar adalah tumbuhan perdu yang mempunyiai cabang kayu kecil dan rendah. Semak belukar dapat dimanfaatkan sebagai penghijauan rendah yang dapat dibentuk-bentuk dengan memotong tangkainya atau sebagai pagar hijau. Tanaman hias berbunga biasanya dipilih menurut warna dan bau wanginya, seperti misalnya bugenvil, kaca piring, kembang sepatu, jure, srigading, bunga melati, sakura, kana, mawar, kenikir, hortensia, dan lain-lain. Semak seperti trembesi (kayu ambon) dan sebagainya juga dapat dimanfaatkan untuk menahan tanah yang mudah longsor karena akarnya menular, dan sebagai tanaman primer yang kemudian dilengkapi dengan pohon berakar tunjang.

Pohon-pohon akan digolongkan menurut bentuk, daun, akar, buah-buahan, atau manfaatnya yang berbeda-beda.

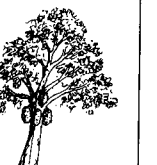
Pohon yang digolongkan menurut bentuk struktur

Pohon berbentuk palem		Kelapa, Aren, Sagu, Palem kipas (lontar), Palem raja
Pohon berbentuk bulat yang agak tinggi > 20 m		Nimba, Bungur, Mahoni

Pohon berbentuk se- tengah bulatan yang agak tinggi > 20 m		Beringin
Pohon berbentuk menjurat yang agak tinggi > 20 m		Ketapang, Angsana, Asam kranji
Pohon berbentuk bulat yang agak rendah < 20 m		Belimbing, Filisium, Asam Jawa
Pohon berbentuk kerucut berdaun lebar		Cengkeh, Glodogan, Melinjo
Pohon berbentuk kerucut berdaun jarum		Cemara laut, Cemara papua, Cemara jarum, Cemara sipres

Pohon yang digolongkan menurut bentuk daun

Daun berbentuk lanset		Bambu, Glodogan

Daun berbentuk bulat telur		Karet-karetan
Daun berbentuk jantung		Waru
Daun berbentuk sudip		Ketapang
Daun berbentuk tangan		Papaya, Tanganan
Daun bersirip genap		Flamboyan
Daun bersirip ganjil		Belimbing
Daun jarum		Cemara

Pohon yang digolongkan menurut peneduhan

Pohon peneduh sedikit, faktor menyejukkan 2%		Kelapa, Aren, Sagu, Palem kipas (lontar), Palem raja

Pohon peneduh rindang, faktor menyejukkan 14%		Flamboyan, Kapuk
Pohon peneduh gelap faktor menyejukkan 28%		Beringin, Waru

Pohon yang digolongkan menurut akarnya

Akar tunjang (pohon yang tumbuh di tanah yang kurang subur dan kering bisa menahan tanah longsor)		Nimba, Akasia (mengganggu tumbuhan tanaman lainnya), ekaliptus (mengisap banyak air tanah)
Akar serabut		Kelapa, Cemara
Akar serabut (menahan tanah longsor juga)		Trembesi, Kayu ambon
Pohon yang tumbuh di tanah yang subur dan lembap		Melinjo, Sengon

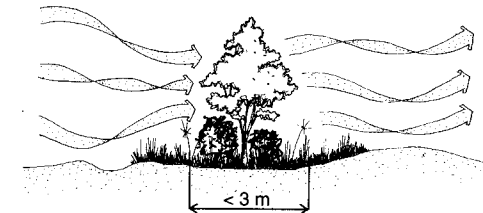
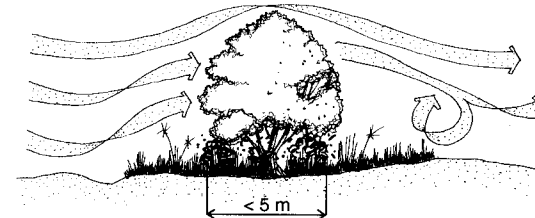
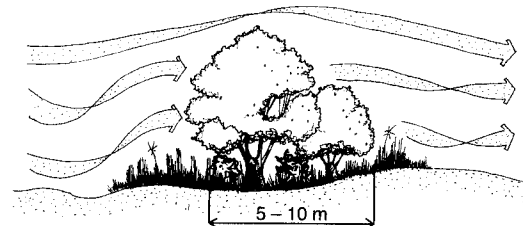
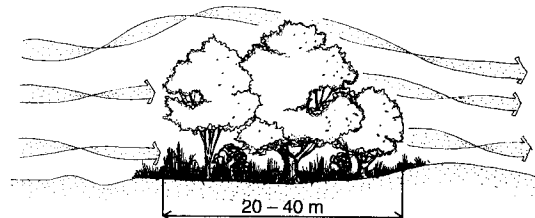
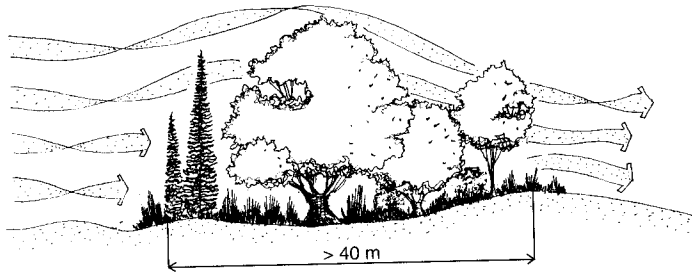
Pohon yang digolongkan menurut buah-buahan

Pohon yang menghasilkan bumbu-bumbu dan jamu-jamuan	Cengkeh	Kayu manis	Nimba

Pohon yang menghasilkan buah perangsang	Kopi	Coklat	Teh
Pohon yang menghasilkan buah-buahan segar	Jeruk manis	Belimbing	Mangga
	Rambutan	Jambu biji	Nangka
Pohon yang menghasilkan buah yang berkulit keras	Kelapa	Pala	Jambu mete

Pohon yang digolongkan menurut manfaat kayu dan sebagainya

Pohon yang menghasilkan kayu bakar	Gamal	Sengon	Tekik
	Waru	Karet	Lamtoro
Pohon yang menghasilkan serabut atau buah serabut	Kelapa	Kapuk	Aren
Pohon yang menghasilkan pupuk atau daun ternakan	Lamtoro gung (pupuk)	Sengon	Turi (terakan)
Pohon yang menghasilkan getah berguna	Karet	Aren	Cemara, Pinus

Selain tanaman berguna sebagai perbaikan kualitas kehidupan, peningkatan pendapatan daun, kayu, akar, buah, dan sebagainya, penanaman pohon dan semak-semak dapat berfungsi pula sebagai pelestarian lingkungan dengan tanam-tanaman yang menjaga erosi tanah, banjir bandang, sumber air, sumber bahan bangunan, dan sumber pangan serta mengurangi debu (pencemaran udara) kalau diatur tepat gunanya sebagai berikut.

Tanaman semak dan pohon berderet: pengurangan debu sedikit sekali

Tanaman semak dan pohon terlalu padat: pengurangan debu sedikit

Tanaman semak dan pohon sebagai saringan: pengurangan debu lumayan

Tanaman semak dan pohon yang lebar dan beraneka ragam: pengurangan debu tinggi karena dapat diendap dalam tanaman

Tanaman semak dan pohon yang lebar dan beraneka ragam: pengurangan debu tinggi karena dapat diendap dalam tanaman serta meredam kebisingan

Tugas 5:

Menyediakan daftar tanaman pohon dan semak-semak yang cocok untuk rumah kediaman seperti tergambar pada halaman 60 (kanan, paling bawah) sedemikian rupa sehingga pencahayaan rumah tidak terlalu gelap oleh peneduh pohon.

Menyediakan daftar tanaman yang cocok untuk penghijauan konstruksi pelindung rumah kediaman seperti tergambar pada halaman 62 (kiri, paling atas) sedemikian rupa sehingga tanaman tersebut menghasilkan buah dan sebagainya bagi penghuni rumah.

Menyediakan daftar tanaman yang cocok untuk penghijauan konstruksi atap datar rumah kediaman seperti tergambar pada halaman 62 (kanan, paling bawah) sedemikian rupa sehingga tanaman tersebut tidak membutuhkan banyak tanah (mengurangi berat konstruksi atap tanah) serta tidak akan mengering pada musim kemarau (dua bulan tanpa air).

Pada suatu proyek perumahan besar jalan masuk utama direncanakan selebar 12 m, dengan dua jalur lalu lintas bermotor yang masing-masing dilengkapi dengan trotoar. Mengusulkan kepada kontraktor jenis pohon yang baik dan representatif untuk bagian pemisah jalur lalu lintas bermotor dan untuk bagian pemisah jalur lalu lintas dengan trotoar (meneduh pejalan kaki). Menentukan lebarnya bagian penghijauan serta jenis penutup tanah dan semak belukar yang cocok dengan pohon pilihan.

Penerapan yang holistik pada tata kota

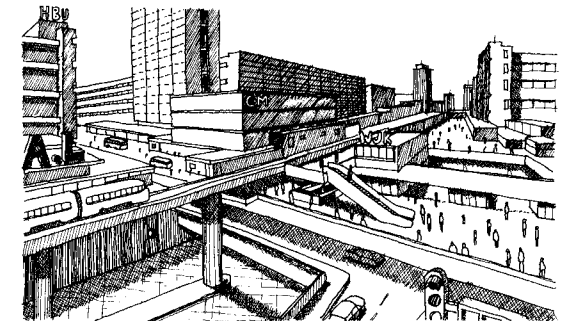
Hidup bersama di dalam sebuah kota yang berdasarkan prinsip-prinsip holistis (dan ekologis) meningkatkan kualitas kehidupan, proses pe-

nyembuhan, serta kehidupan dalam keselarasan dengan lingkungan sekitar. Dalam sejarah manusia selalu ada manusia tertentu yang melatih pengetahuan holistik seperti misalnya orang Indian, suku Afrika tertentu, Bramin Hindu, Lama Buddha, ahli filsafat Feng-shui, atau ahli perbintangan dan primbon di Jawa.

Pengetahuan yang holistik bukan berarti bahwa patut dihubungkan pengetahuan ilmiah (arsitektur, psikologi, kedokteran, tata kota, utilitas, lansekap, dsb.) karena dengan demikian kita sekali lagi menginterpretasi keseluruhan sebagai jumlah bagian masing-masing. Namun, pengetahuan holistik berarti jaringan konteks, analisis sistem-sistem, syarat-syarat kibernetik yang biologis, dan sebagainya.

Tata kota untuk masa depan sebagai penerapan prinsip ekologis yang holistik dapat disusun sebagai berikut:[54]

- **Kota beraneka ragam** berarti bahwa penduduk hidup dan bekerja pada bagian kota yang sama. Tuntutan ini menghemat kebutuhan jalan raya, mobil-mobil, dan sebagainya serta meningkatkan kualitas kehidupan.

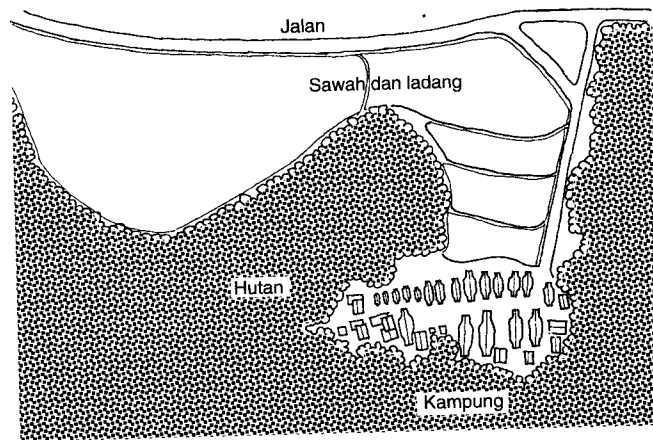
Kota tradisional berkualitas tinggi

Kota baru yang membosankan

- **Kota penuh pengertian** berarti kota yang terbentuk oleh sejumlah kelurahan yang agak otonom dan di antaranya terletak jalur hijau (sebagai jalan penghubung untuk binatang liar) yang seperti jari menghubungkan kota dengan pedalaman. Menurut pola Bariloche[55]

54 Membandingkan juga: Hatlapa, Christoph. *Bauökologie – Ganzheitliche Betrachtung.* Dalam SIB (ed.) *Leitfaden für Baubiologie – Bauökologie.* Zürich 1993. hlm. 23-28.

55 Pola Bariloche diterangkan oleh: Hofer, Max. M. *Urbanisierungsprozess und Grundbedürfnis Wohnen in Entwicklungs-ländern.* Diss. Zürich 1981. halaman 166-193; Lihat juga: bab 7. Lampiran, Daftar kata-kata hlm. 159.

sebuah kota yang melebihi ± 700'000 penduduk tidak dapat diatur lagi. Jika suatu kota bertumbuh terus, maka sebaiknya dibangun kota baru yang ekologis.

- **Kota penghemat tanah**. Penggunaan tanah diatur menurut kebutuhan penduduk. Walaupun tidak ada gedung yang melebihi tiga atau empat tingkat, penduduknya sangat padat. Luas penggunaan tanah untuk pribadi sebaiknya dibatasi sehingga bagian kota untuk umum seluas mungkin. Selanjutnya, tidak boleh membangun penghalang yang tingginya lebih dari 2.00 m agar angin sepoi-sepoi dapat mencapai setiap sudut.

Tata tanah tradisional di Kete Kesu (Sulsel).[56]

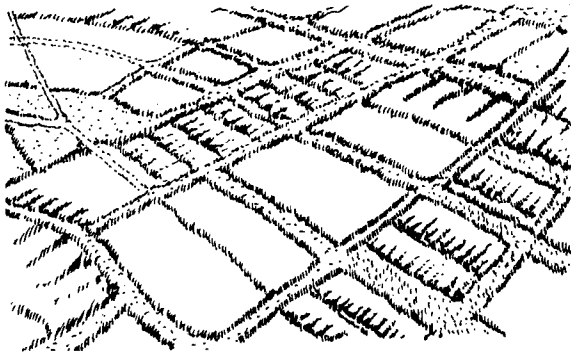
- **Kota dengan jalan pendek**. Tiada jalan yang lebih panjang daripada 1 – 2 km di dalam kelurahan masing-masing. Jalan dengan pohon yang melindungi jalan yang pendek dan langsung dapat digunakan oleh pejalan kaki, sepeda atau becak. Mobil harus ditinggalkan pada suatu tempat parkir di pinggir kelurahan masing-masing. Hubungan yang paling cepat di antara kota dan kelurahan masing-masing adalah kereta api.
- **Kota penuh rasa tanggung jawab penghuni**. Semua dinas kota diatur secara kooperasi dimana setiap penduduk berkait adalah anggota kooperasi. Setiap anggota diikat baik secara diri sendiri maupun secara keuangan dan merasa tertarik pada penyelesaian yang ekologis.
- **Kota tanggung jawab atas penggunaan energi**. Dengan tanggung jawab sepenuhnya atas penghematan energi hanya sedikit sekali mobil yang berjalan, tiada AC, dan sebagainya. Dengan penggunaan energi dari air sungai, angin, atau surya maka penggunaan energi dapat dihemat 50%.
- **Kota tanggung jawab atas pencemaran**. Pengurangan penggunaan bahan bakar oleh penggunaan mobil yang luar biasa dapat mengurangi pencemaran udara dan dengan penurunan produksi mobil pencemaran air dan tanah dapat dikurangi lagi. Hal ini mengakibatkan pengurangan efek rumah kaca, lubang ozon, dan penyakit pernapasan.
- **Kota tenang**. Ketiadaan lalu lintas dan kebisingan-kebisingan lainnya meningkatkan perasaan kepekaan terhadap bunyi alam seperti anak-anak yang bermain, burung-burung yang berkicau, ayam jago yang berkokok, dan kodok yang mengorek.

Anak-anak bermain di lingkungan kota, di mana alam mengganti kemacetan lalu lintas

- **Kota tanggung jawab atas penggunaan air**. Dengan penggunaan air hujan penggunaan air minum dari PAM dapat dikurangi. Kotoran manusia maupun binatang dapat digunakan sebagai biogas dan pupuk sehingga air tanah tidak dicemari lagi oleh rembesan dari septik tank.
- **Kota tanggung jawab atas sampah**. Manajemen sampah dan peraturan lingkungan tentang kuantitas dan kualitas bahan impor kota dapat mengurangi banyaknya sampah lebih dari 50%. Banyak-

56 menurut: Chatani Masahiro/Yagi Kōji/Mori Kazuharu/Yamuguchi Hiroshi. *Indoneshia Sulaweshi shima Sadan Toraja no shūraku to jūkyo no keitai.* (Analyses of Toraja Settlements and Housing in Sulawesi Island, Indonesia). Tokyo 1981. hlm. 10.

nya kertas, botol, logam, dan plastik juga dapat dikurangi dan sisanya dapat digunakan kembali. Industri pengolahan sampah mengurangi banyaknya sampah dan dapat menjadi sumber energi panas, gas, dan listrik sebelum sisa sampah ditumpuk pada tempat pembuangan akhir yang aman, atau sampah organik sebagai kompos menjadi pupuk tanaman.

- **Kota dengan gedung dan lingkungan yang sehat.** Bangunan-bangunan dibuat dari bahan bangunan alam yang pengelolahan tidak membutuhkan banyak energi dan sumbernya dekat seperti misalnya kayu, tanah liat, batu alam dan batu bata, bambu, dan serat-serat lainnya. Bahan ini juga mempunyai keuntungan bahwa kesehatan penghuni tidak dipengaruhi lagi, melainkan proses penyembuhan dapat ditingkatkan.
- **Kota yang mandiri**. Menurut prinsip 'kota penghemat tanah' menyediakan cukup banyak tempat untuk menanam pohon buah-buahan, sayur-sayuran atau sebagai sawah untuk menanam padi sehingga setiap kelurahan kota dapat menghasilkan bahan makanan yang mencukupi kebutuhan.

Bagian kota dan bagian penumbuhan bahan makanan mempersambungkan satu sama lain seperti jari-jari tangan.[57]

- **Kota kemerdekaan dan etos pendidikan**. Anak-anak dan penduduk dewasa mempelajari di kota ekologis ini segala sesuatu yang berhubungan dengan kehidupan bersama dan keselarasan dengan alam sekitarnya. Keselarasan ini menciptakan iklim yang penuh kemerdekaan dan kebahagiaan. Penduduk kota ini menciptakan contoh etos mengenai cara kehidupan sesuai dengan lingkungan dan secara holistik untuk masa depan.

57 Lihat: Alexander, Christopher. *A Pattern Language*. edisi ke-12. New York 1977. hlm 25; dan: Krusche, Per. *Oekologische Stadtentwicklung – die Stadt als selbstregulierendes System*. Dalam: *Baubiologie* 2/1996. hlm. 14-23.

Tugas 6:

Mengambil 5 elemen kota ekologis tersebut di atas dan menyusun hubungan timbal balik di antaranya. Kemudian, menambahkan 2 elemen lagi dan menguraikan perubahan terhadap susunan pertama.

Mengusulkan tindakan yang akan perlu diambil untuk memperbaiki sebuah rumah pada lingkungan tetangga yang dinilai ekologis kurang baik. Memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi bumi, iklim, tradisi, dan sebagainya dan menggambarkan jaringan ekologis yang tepat sesudah tindakan tersebut dilaksanakan.

3. Struktur dan konstruksi bangunan

Struktur bangunan dapat memecahkan dua persoalan, persoalan teknik dan persoalan estetika, termasuk pembentukan ruang. Persoalan teknik adalah kekukuhan gedung terhadap pengaruh luar dan bebannya sendiri yang bisa mengakibatkan perubahan bentuk atau robohnya gedung. Persoalan estetika merupakan persoalan arsitektur yang agak sulit ditentukan, yaitu keindahan gedung secara integral serta kualitas arsitektur.

Dengan pilihan struktur bangunan[1] tertentu yang murni maupun sebagai kombinasi dengan bagian kelengkapan bangunan tidak hanya membagi ruang-ruang di dalam gedung, melainkan juga membagi ruang luar dan ruang dalam. Menurut penempatan bagian bangunan yang membagi ruang dalam dan ruang luar, maka struktur bangunan akan tampak dari luar atau tersembunyi.

Di samping fungsi statis struktur dalam pembentukan arsitektur di Asia, sering pengaruh simbol dan mistik lebih diutamakan.[2] Hiasan sejak dahulu kala digunakan untuk menyampaikan gagasan kosmologis dan metafisis dalam bentuk simbol dan bukan hanya melambangkan alam sebagai sumber fungsi statis.

Pada zaman dahulu kebanyakan bentuk struktur yang autoktonos sangat tebatas menurut pengalaman dan teknik pertukangan maupun oleh faktor-faktor metafisis (adat, primbon, tantangan agama, dsb.) dalam bentuk, lebar bentang, serta bahan bangunan yang digunakan secara tradisional seperti misalnya pendopo dan saka guru di Jawa.

Perkembangan ilmiah teknik dan pendidikan sarjana teknik memberi kesempatan yang luas bagi berbagai bentuk struktur yang hampir tidak terbatas lagi dalam bentang lebar (dengan kemungkinan menggunakan sambungan memanjang yang secara tradisional belum ada), dan keanekaragaman struktur-struktur baru (kabel, tenda, pneumatik, portal, balok pelat, pelat, sistem lipat, cangkang, dsb.) maupun dalam variasi

1 lihat tabel bab 1: Penggolongan struktur dalam struktur bangunan masif, struktur bangunan pelat dinding sejajar serta struktur bangunan rangka, hlm. 19-20.

2 membandingkan juga: Frick, Heinz. *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia*. Yogyakarta 1997. hlm. 138, 176ff, 198ff.

bahan bangunan (kayu berlapis majemuk, baja, beton bertulang, kabel serat karbon, dsb.).

Pada zaman dahulu sistem bentuk struktur merupakan faktor kecil yang mempengaruhi keindahan sebuah gedung. Struktur bangunan yang tidak diselimuti sering dianggap kasar dan belum selesai, dibandingkan dengan masa kini yang menilai keindahan struktur makin lama makin penting dibandingkan dengan sekedar logika sistem bentuk struktur yang berhubungan dengan bentuk arsitektur.

Pada zaman dahulu agak jarang dibangun gedung yang luas dan besar. Oleh karena itu, pertimbangan ekonomi ditiadakan, dibandingkan dengan masa kini yang membutuhkan gedung yang luas dengan lebar bentang yang besar makin lama makin banyak. Karena pertimbangan ekonomi dan kekokohan statis adalah penting, maka pengetahuan tentang bentuk dan struktur dalam arsitektur merupakan pengetahuan dasar bagi semua perencanaan arsitektur.

Sayangnya, di bidang penelitian arsitektur belum ada metode bagi pemecahan permasalahan arsitektur sehingga dapat diperoleh penyelesaian secara sistematis, seperti di bidang ilmu eksakta, dapat diperoleh penyelesaian dengan percobaan yang dapat diulang, yang dapat dicatat dalam bentuk statistik. Dampak di bidang arsitektur adalah integral dan aneka ragam, maka tidak dapat diselesaikan dengan metode ilmiah yang ada.[3]

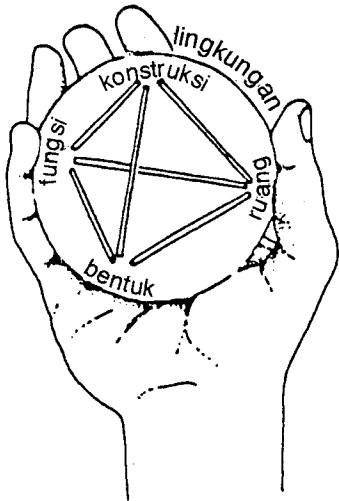
3.1 Kualitas struktur

Kualitas struktur agak sulit didefinisikan seperti juga kualitas eko-arsitektur[4] karena kualitas tidak dapat diukur atau dikuantifikasi dan karena baik struktur maupun eko-arsitektur bersifat holistik.[5] Dalam hal ini kualitas struktur dapat didefinisikan sebagai **keseluruhan struktur** fungsional, struktur lingkungan (ekologi, tempat dan waktu), struktur

3 menurut: Ackermann, Kurt. *Tragwerke in der konstruktiven Architektur.* Stuttgart 1988. hlm. 13.

4 lihat bab 1.3 Dasar-dasar eko-arsitektur. hlm. 17-18.

5 Holistik (atau integral) berarti ciri pandangan yang menyatakan, bahwa keseluruhan sebagai suatu kesatuan adalah lebih penting dari pada satu-satu bagian dari suatu organisme, karena di samping bagian bagian, mengandung juga hubungan antara bagian masing-masing.

bangunan (sistem, teknik dan konstruksi), dan struktur bentuk (ruang dan estetika) secara integral.[6]

Gambar pedoman kualitas struktur[7]

Struktur fungsional menentukan dimensi geometris yang berhubungan dengan penggunaan atau fungsi (kebutuhan ruang, ruang gerak, ruang sirkulasi, dan sebagainya), dimensi pengaturan ruang. Dimensi fisiologis tentang kenyamanan, penyinaran, dan penyegaran udara. Dimensi teknis dengan beban lantai, instalasi teknik, dan sebagainya.

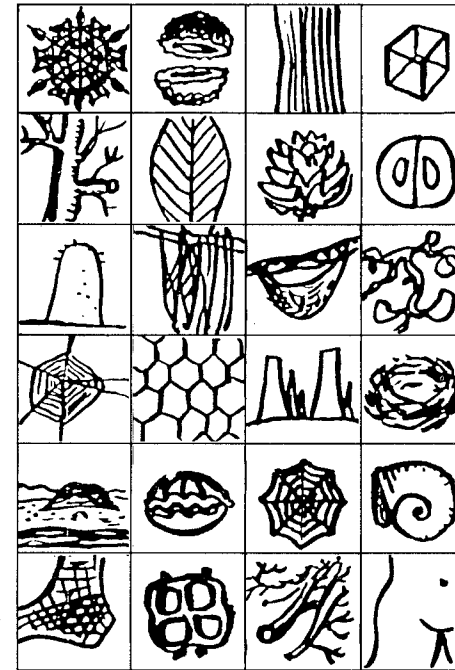
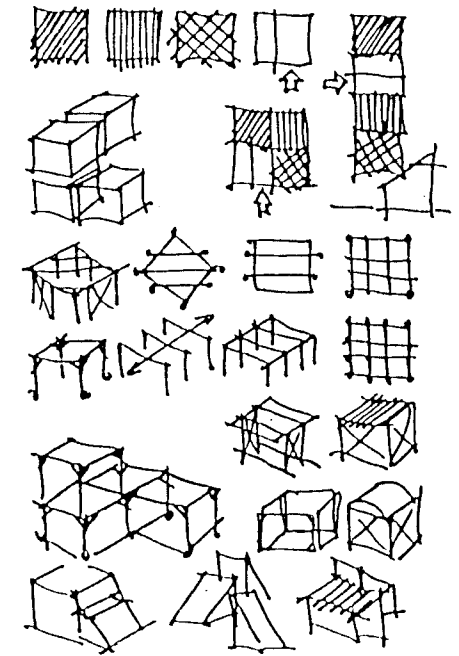
Struktur lingkungan meliputi lingkungan alam (iklim, topografi, geologi, hidrologi, flora, fauna, pemandangan, serta radiasi teristis dan kosmis) serta lingkungan buatan (bangunan, sirkulasi, prasarana teknis, dan radiasi buatan). Konteks sosial dan psikologis, sejarah dan *genius loci,* kesediaan bahan baku, ekonomi dan waktu yang tersedia.

Struktur bangunan adalah susunan kegiatan yang dibutuhkan untuk membangun, memelihara, dan membongkar suatu gedung. Berarti bahan bangunan, sistem penggunaannya (produksi dan pemasangan), dan teknik serta konstruksi bangunan harus memenuhi tuntutan ekologis.

Struktur bentuk mengandung massa dan isi, ruang antara dan segala kegiatan mengatur ruang. Bentuk ruang tersebut dapat didefinisi oleh dinding pembatas, tiang, lantai, dan sebagainya serta lubang pembukaan. Pencahayaan dan warna ikut mempengaruhi keindahan.

Kualitas struktur kemudian dapat dinilai dari segi **integralistiknya dengan alam** seperti gambar sebagai berikut.

6 lihat: Ronner, H. *Kontext 78: Baustruktur.* edisi ke-2. Zürich 1986. hlm. 3,5

7 *ibid.* hlm. 3

Susunan morfologis menurut teladan ilmu alam berbentuk mineral, logam, kristal, flora, dan fauna[8]

Susunan morfologis menurut teladan ilmu geometri berbentuk batang, bidang, dan rangka serta struktur[9]

Harus diperhatikan bahwa dua susunan morfologis tersebut di atas berdasarkan dua sumber yang berbeda dan tidak dapat dibandingkan secara langsung.

Nilai ketiga kualitas struktur adalah **kesinambungan** (*sustainability*) pada struktur, berarti hubungan antara masa pakai bahan bangunan[10] dengan struktur bangunan (lihat bab 3.2 berikut).

Sebagai kesimpulan dapat digolongkan kualitas struktur atas:

- keseluruhan struktur fungsional, lingkungan, bangunan, dan bentuk;
- integralistiknya dengan alam; dan
- kesinambungan (*sustainability*) pada struktur.

8 Schmid, Peter. *Bio-logische Baukonstruktion.* Köln 1986. hlm. 25

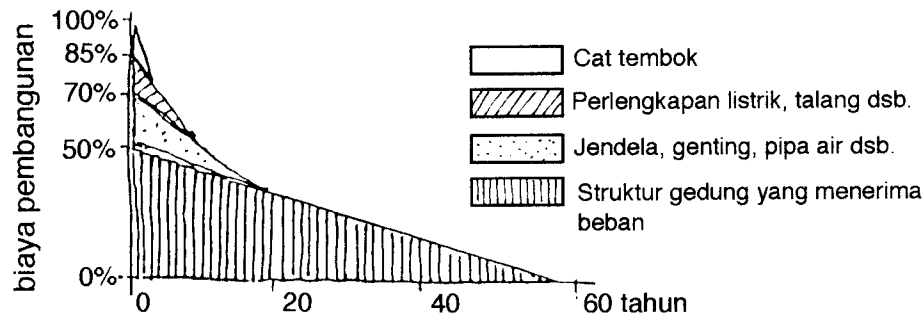
9 Hartmann, Jürgen. *Entwerfen.* Stuttgart 1980. halaman 95

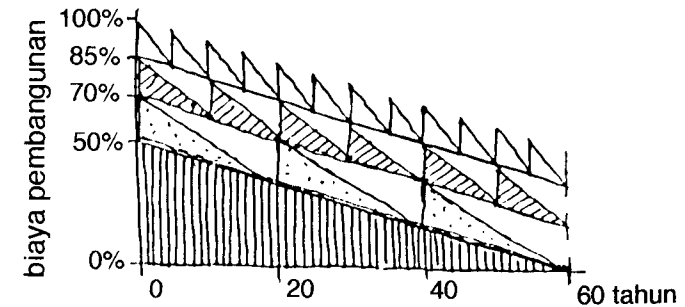
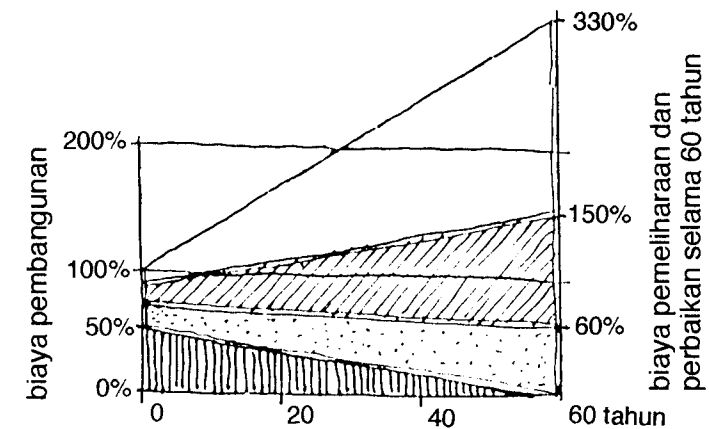
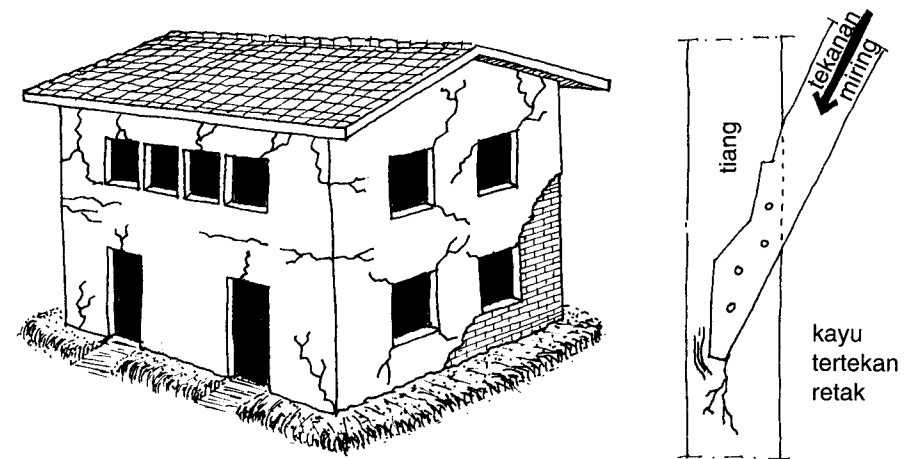
10 berhubungan dengan bahan bangunan maka setiap bagian bangunan memiliki masa pakai tertentu yang terbatas. Kemudian bagian bangunan tersebut kurang tahan, kurang kuat, atau kurang laku lagi. Hal ini akan menentukan kebutuhan pemeliharaan dan perbaikan.

3.2 Kesinambungan (*sustainability*) pada struktur

Hubungan antara masa pakai bahan bangunan dan struktur bangunan mempengaruhi baik pilihan struktur maupun penggunaan bahan bangunan menurut prinsip-prinsip kualitas struktur yang dipilih. Pada dasarnya dikenal tiga prinsip:[11]

- **prinsip pembuangan** di mana semua unsur dari sebagian bangunan menyesuaikan diri dalam daya tahannya atas unsur-unsur yang paling lemah/paling cepat rusak;
- **prinsip *'Rolls Royce'*** di mana unsur-unsur yang paling kuat menentukan daya tahan bagian bangunan masing-masing; dan
- **prinsip struktural** di mana setiap unsur bangunan yang daya tahannya berbeda dengan bagian bangunan yang lain dapat diganti tanpa merusak bagian bangunan yang lebih kuat. Makin banyak bagian bangunan yang tahan lama, makin kecil biaya pemeliharaannya.

Setiap orang tahu bahwa, misalnya, pipa PVC (pipa air minum) tidak tahan sama lamanya seperti beton bertulang. Walaupun demikian, pipa PVC tertanam dalam beton. Kalau pipa tersebut perlu penukaran, terpaksa harus merusak konstruksi beton bertulang (yang tahan jauh lebih lama) dahulu. Maka menurut pengetahuan ini prinsip struktural dapat diterangkan lebih jelas dengan susunan struktur menurut masa pakai yang kira-kira sama lamanya sebagai berikut.

Daya tahan bagian bangunan masing-masing

11 Steiger, Peter. *Bauen und Oekologie im Dialog.* Dalam: SIA Dokumentation D 046. *Schadstoffarmes Bauen.* Zürich 1989. hlm. 12-13.

Kebutuhan pemeliharaan dan perbaikan selama 60 tahun:

Alokasi biaya pembangunan, pemeliharaan, dan perbaikan selama 60 tahun:

Retak-retak baik dalam konstruksi batu bata maupun konstruksi kayu akibat kemampuan tahan lama konstruksi sudah dilewati.

Penggantian bagian bangunan yang aus membutuhkan bahan mentah dan energi yang sebenarnya dapat dihemat baik secara ekonomis maupun ekologis. Pada setiap penggunaan bahan bangunan harus dipertimbangkan ciri khas berikut:

- kemampuan tahan lama bagian bangunan tersebut;
- kapan bagian bangunan harus diganti karena rusak atau perkembangan teknologis; atau
- kemampuan tahan lama nonfisik (tidak laku lagi, membosankan).

Dengan perhatian atas masa pakai bagian-bagian bangunan yang mempertimbangkan waktu kapan bagian bangunan harus diganti karena rusak, aus, dan sebagainya, dapat dimanfaatkan tabel berikut sebagai pedoman.

Masa pakai bagian-bagian bangunan

Bagian bangunan	Masa pakai (tahun)		
	30	60	90
Bagian struktur			
Dinding batu alam			
Dinding batu bata			
Dinding beton			
Dinding konstruksi kayu			
Lantai beton bertulang			
Lantai konstruksi kayu			
Tangga beton bertulang			
Kolom beton bertulang			
Kuda-kuda atap kayu			
Kuda-kuda atap baja			
Atap pelat beton			
Bagian sekunder			
Dinding pemisah dari batu-bata			
Dinding papan di luar			
Dinding papan di dalam			
Dinding eltenit board			
Dinding gipskarton			
Plesteran dinding luar			
Plesteran dinding dalam			
Lantai ubin semen			
Lantai ubin teraso			
Lantai tegel keramik			
Lantai papan kayu			
Lantai parket kayu			
Lantai linolium			
Lantai permadani			
Kosen kayu jati			
Kosen kayu Kalimantan			
Krepyak kayu			
Jendela bingkai kayu			
Jendela Naco			
Pintu dalam daun triplex			
Pintu rumah kayu masif			
Pintu lipat baja			
Pintu kerai aluminium			
Peran, kasau, reng			
Atap rumbia, ijuk, dll.			
Atap sirap kayu			
Genting flam tanah liat			
Genting pres tanah liat			
Genting beton			
Pelat semen berserat			
Talang seng			
Tangga konstr. kayu			
Tangga berlapis tegel			

Bagian bangunan	Masa pakai (tahun)		
	30	60	90
Bagian finishing			
Langit semen berserat			
Langit tripleks			
Langit gipskarton			
Cat kayu bagian luar			
Cat kayu bagian dalam			
Cat besi			
Cat tembok di luar			
Cat tembok di dalam			
Dinding tegel di luar			
Dinding tegel di dalam			
Wall paper			
Kawat nyamuk			
Bagian teknik			
Pipa air minum PVC			
Pipa air minum baja			
Saluran air kotor PVC			
Saluran air kotor tembikar			
Kakus monoblok			
Kakus jongkok			
Wastafel			
Keran dll.			
Cuci piring teraso			
Cuci piring nonkarat			
Instalasi saluran listrik			
Stopkontak, sakelar dll.			
Perlengkapan dan perabot			
Lemari es			
Mesin cuci			
Peralatan AC			
Mebel-mebel			
Kasur			

3.3 Teknologi konstruksi bangunan

Pikiran sistematik

Pikiran sistematik adalah proses di bidang ilmu eksakta yang perkembangannya cukup sukar dan lama. Dalam hal ini mungkin dapat menyinggung Galileo Galilei yang pada tahun 1615 atas dasar penelitiannya menentukan bahwa dunia sebagai bola mengelilingi matahari, pengetahuan yang sudah umum tetapi baru beberapa tahun yang lalu diakui oleh Sri Paus. Sama saja terjadi dengan Charles R. Darwin dan teorinya tentang evolusi manusia pada tahun 1860.

Pikiran sistematik adalah pola pikiran yang baru untuk menggambarkan misalnya peredaran alam seperti peredaran air, zat karbon, ozon, atau energi. Mungkin pengertian pergerakan dalam peredaran tersebut mengkhawatirkan manusia dan kecenderungan alam terhadap stabilitas, keamanan dan kenyamanan sebagai pertentangan dinamika masa kini. Bisa jadi juga, kedudukan sosial seorang insinyur agak tinggi karena dianggap dia menguasai teknik dan mempertahankan kestabilan (mekanika teknik ilmu keseimbangan).

Berdasarkan rantai hubungan sebab-akibat bahwa tanpa teknik tiada peradaban dan tanpa peradaban tiada kebudayaan, teknik adalah kebutuhan dasar. Kalau memang demikian, maka harus juga menerima dinamika dalam penyelidikan dan penemuan baru di bidang teknik.

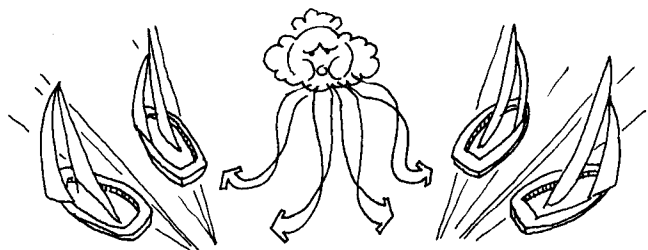
Kesinambungan (*sustainability*) pada teknologi

Menurut Mochtar Lubis, inti persoalannya adalah kenyataan bahwa kemajuan teknologi tidak dibarengi dengan kemajuan kebudayaan kita.

> Bagaimana kita memperkecil sedapat mungkin dampak buruk dan negatif teknologi terhadap kebudayaan? Kita harus memperluas pengetahuan dan daya analisis kita sendiri mengenai teknologi. Kita harus meninggikan sikap kritis kita terhadap berbagai akibat sampingan dari suatu teknologi. Untuk dapat berbuat demikian kita harus pula meninggikan kepekaan kita terhadap keselamatan lingkungan hidup kita dari pencemaran dan peracunan serta kebinasaan, serta meninggikan pula semangat solidaritas kita dengan keselamatan dan kesejahteraan manusia dan masyarakat kita.[12]

Dampak buruk dan negatif teknologi dapat diatasi dengan penggunaan dan pemanfaatan teknologi protektif (perlindungan), teknologi sederhana *(intermediate technolgy),* teknologi alternatif, atau teknologi lunak daripada teknologi *high-tech* yang juga diartikan sebagai teknologi keras. **Teknologi lunak** *(soft technology)* dapat dibayangkan sebagai berlayar berlawanan arah angin.

Berlayar berlawanan arah angin.

12 Mochtar Lubis. *Dampak Teknologi pada Kebudayaan.* Dalam: Mangunwijaya, Y.B. (ed.) *Teknologi dan dampak kebudayaan.* Jilid 2. Jakarta 1985. hlm. 8.
Mochtar Lubis di situ juga menyadari inti persoalan tersebut demikian: adalah kenyataan, bahwa kemajuan teknologi telah tidak dibarengi dengan kemajuan kebudayaan kita.

Perbandingan teknologi keras dengan teknologi lunak[13]

Teknologi keras *(hard technology)*	Teknologi lunak *(soft technology)*
berbahaya terhadap keseimbangan ekologi	seimbang dengan lingkungan sekitar
mengeksploitasi alam	memelihara peredaran alam
penggunaan energi tinggi	penggunaan energi rendah
pencemaran lingkungan tinggi	pencemaran lingkungan rendah
sesudah digunakan akan dibuang	sesudah digunakan didaur ulang
jangka waktu dan masa pakai pendek	jangka waktu dan masa pakai panjang
produksi massal dan berpusat	produksi integral dan desentral
spesialisasi tinggi	keahlian dalam ketrampilan
makin besar makin produktif	makin terbatas makin kuat
bersifat perkotaan (urban)	bersifat pedesaan (rural)
proses produksi rumit	proses produksi sederhana
desintegrasi lingkungan alam	berintegrasi dengan lingkungan alam
ekonomi memberi batas teknik	alam dan ekologi memberi batas teknik
membutuhkan modal yang tinggi	membutuhkan banyak tenaga
perdagangan dunia (APEC, WTO)	dagang tukar-menukar (barter) loka
inovasi berdasar keuntungan dan perang	inovasi berdasar kebutuhan
merusak kebudayaan setempat	memelihara kebudayaan setempat
ekonomi bersifat tumbuh	ekonomi bersifat stabil
menilai kuantitas tinggi	menilai kualitas tinggi
destruktif bagi makhluk yang lain	tergantung pada kemakmuran makhluk
monokultur di bidang pertanian	keanekaragaman tanaman terjamin
upah sebagai motivasi kerja	kesenangan sebagai motivasi kerja
pemisahan antara waktu kerja dan libur	waktu kerja dan libur jarang dibedakan
pengangguran tinggi	pengangguran rendah

Tabel ini membuktikan bahwa teknologi lunak betul-betul adalah **teknologi ekologis.**

13 menurut Dickson, David. *Alternative Technologie.* München 1978. hlm. 89-91.

Teknologi yang ekologis selalu mengutamakan keseimbangan antara teknologi dan lingkungan[14] sebagai berikut.

Seimbangan dengan alam
- perhatian kepada alam dan sumbernya

Seimbangan dengan manusia
- perhatian kepada keamanan, kehidupan (air, jalan nafkah penghidupan, uang sewa/beli), kebudayaan (tanah air, agama, keluarga), sumber alam, pencemaran udara, kesehatan, pendidikan, dan sebagainya.

Seimbang dengan lingkungan
- perhatian terhadap iklim, tanah (gempa bumi, banjir, rob), pengaruh lainnya (tahan rayap, bahaya malaria), dan sebagainya.

Terdapat pula kesadaran-kesadaran baru bahwa sistem-sistem sosio-teknologis dewasa ini menimbulkan kerugian-kerugian ekologis, dan bahwa sistem-sistem pemberi kehidupan dari bumi hanyalah terbatas adanya. Kesadaran-kesadaran itu mempertebal kebutuhan untuk menyusun pola-pola pembangunan yang bukan merupakan pengulangan belaka dari apa yang pernah dijalankan oleh negara-negara maju. Dan juga memaksa kita untuk meninjau kembali hubungan antara peradaban dengan alam. Krisis bahan mentah telah mulai menjulang tinggi sebagai akibat ekonomi-ekonomi yang rakus dari masyarakat-masyarakat industri, serta nafsu mereka untuk mengejar perkembangan secara terus-menerus. Keadaan ini membangkitkan pertanyaan yang amat nyata, yaitu apakah basis bahan mentah di bumi akan dapat mencukupi guna mendukung suatu ekonomi dunia di mana negara-negara sedang berkembang dapat mengharapkan kemungkinan untuk mencapai taraf kemakmuran sebagaimana misalnya sedang dinikmati oleh Eropa di masa kini. Itu bahkan pada tingkat kepadatan penduduk yang sekarang juga.[15]

14 Hugi, Hans R. *Angepasste Technologie für Entwicklungsländer.* Dalam: majalah SI+A no. 50. Zürich 1983. halaman 1195; pada waktu itu masih diberi nama 'teknologi protektif' (perlindungan), karena istilah 'teknologi ekologis' belum laku.

15 Soedjatmoko. *Teknologi, pembangunan dan kebudayaan.* Dalam: Mangunwijaya, Y.B. (ed.) *Teknologi dan Dampak Kebudayaan.* Jilid 1. Jakarta 1983. hlm. 51.

Konstruksi bangunan yang baik adalah konstruksi yang holistis.

Konstruksi bangunan yang holistis terdiri dari:	
Pilihan dan penggunaan ...	Bahan bangunan Bahan baku, unsur-unsur, komponen, dsb.
	Metode Eksploitasi, cara pembuatan, transpor, cara pemasangan dan konstruksi, pemeliharaan, kemungkinan mendaur ulang, dsb.
... dengan menguasai	Prasyarat ilmu alam (eksakta) Fisika, kimia, biologi, dsb.
	Prasyarat ilmu hukum Peraturan bangunan, hubungan kerja antara ahli dan pemberi tugas, UU perburuhan, dsb.
	Prasyarat operasional Manajemen bangunan, manajemen keuangan, dsb.
... dan mengatasi	Tujuan keindahan Sejarah arsitektur, fungsi gedung, dan keguanaannya
	Tujuan keamanan Pilihan tempat, stabilitas gedung, masa pakai, dsb.
	Tujuan kesehatan dan lingkungan Tuntutan ekologis, pelestarian lingkungan alam, dsb.

Tugas 7:

Menyusun secara sistematik struktur dan konstruksi untuk suatu kamar mandi yang sederhana (struktur yang menerima beban, bagian bangunan yang membagi ruang, jendela, langit-langit, pipa air, pipa air kotor, perlengkapan listrik dan perlengkapan alat-alat saniter, penutup lantai, pelapis dinding dan bak air) dan mempertimbangkan daya tahan lama masing-masing bagian sesuai dengan daftar daya tahan bagian bangunan (halaman 96-97).

Menguraikan perbaikan pada masing-masing bagian dari kamar mandi tersebut, termasuk kerusakan bagian-bagian yang lain, yang terikat erat dengan bagian yang harus diperbaiki:

1. mengganti bola lampu atau keran air yang mengisi bak;
2. mengganti *floor-drain* termasuk leher angsanya pada lantai;

3. mengganti wastafel;
4. mengganti tegel; dan
5. mengganti pipa air PVC yang bocor di dalam dinding.

Mengingat alokasi biaya pembangunan pada daftar daya tahan bagian bangunan (halaman 96-97) tersebut, terlihat tajam bahwa pekerjaan cat dan sebagainya dalam masa penggunaan gedung membutuhkan biaya tertinggi. Di sisi lain terutama bagian cat tembok kimia mengandung banyak larutan yang akan menguap dan mengakibatkan pencemaran udara dan mempengaruhi kesehatan penghuni secara terus-menerus. Menguraikan tiga penyelesaian yang mencegah hal-hal tersebut untuk pelapis dinding luar pada sebuah rumah.

4. Bahan bangunan dan rantai bahan

4.1 Pembangunan dan kesehatan

Cara membangun serta teknologi bangunan mengalami banyak perubahan sejak kemerdekaan Indonesia. Perubahan tersebut berdasar atas perkembangan ekonomi, kebutuhan gedung-gedung dengan fungsi baru (seperti hotel, bank, pasar swalayan, gedung olahraga, dan lain-lain) yang secara tradisional tidak ada contohnya.

Baik tradisi semua konstruksi maupun bahan bangunan diketahui dan berkembang sejak ribuan tahun. Segala pengaruh atas manusia dan lingkungannya sudah jelas diketahui dan dapat dipelajari dari buku/naskah daerah (misalnya primbon Jawa). Dengan adanya bahan bangunan baru (misalnya bahan sintetik atau kaca) dan teknologi yang belum pernah dialami karena dipelajari dalam buku-buku dari Barat, maka keseimbangan dan keselarasan manusia dengan lingkungannya menjadi terganggu.

Bahan bangunan alam yang tradisional seperti batu alam, kayu, bambu, tanah liat, dan sebagainya tidak mengandung zat kimia yang mengganggu kesehatan. Lain dengan bahan bangunan modern seperti tegel keramik, pipa plastik, cat-cat yang beraneka macam dan warnanya, perekat, dan sebagainya. Siapa yang mengetahui pembuatannya, proses dan campuran bahan mentahnya?

Sebagai beberapa zat yang mengganggu kesehatan manusia terutama zat-zat yang menghilang dalam udara (dalam bentuk limbah gas) dan mengganggu penghuni dengan bau menyengat atau dengan gas yang melewati hidung manusia dan akan mengakibatkan bermacam-macam gangguan kesehatan.

Yang lebih parah lagi adalah, misalnya, suatu zat tertentu dianggap tidak mengganggu kesehatan penghuni tetapi jika tercampur dengan zat lain yang diperkirakan aman, dapat timbul efek sinergi yang berarti terjadinya campuran zat atau gas yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

Seorang arsitek, insinyur, atau pemborong biasanya tidak dikenakan gangguan tersebut. Risiko sepenuhnya dialami oleh:

- para penghuni rumah yang bernapas dan menghirup zat-zat yang mengganggu kesehatannya;
- para tukang yang harus bekerja di lapangan dengan bahan bangunan yang mengandung zat-zat tersebut;
- para buruh yang bekerja di pabrik yang memproduksi bahan bangunan atau zat kimia yang akan mengganggu kesehatan; dan
- para buruh yang kemudian hari akan membongkar rumah tersebut yang dibangun dengan bahan bangunan yang mengandung zat-zat yang mengganggu kesehatan.

Sebenarnya, setiap arsitek, insinyur, atau pemborong harus bersikap etis dan penuh tanggung jawab untuk menghindari hal-hal tersebut di atas, walaupun harus diakui bahwa dalam banyak hal pengaruh terhadap kesehatan manusia belum dapat dibuktikan.

Jika timbul keinginan membangun rumah yang sehat, perlu diperhatikan dampak tiga faktor berikut: pengaruh waktu, pengaruh energi, dan pengaruh penyegaran udara.[1]

Pengaruh waktu
Pembangunan harus murah (harga per m2 harus ekonomis) dan waktu realisasi harus secepat mungkin (mengakibatkan stres)

Pengaruh energi
Penghematan energi merupakan tuntutan ekologis dan ekonomis terhadap pencemaran (udara, air, dan tanah)

Pusat permasalahan mengakibatkan gangguan kesehatan manusia dan bahan bangunan yang tidak ekologis

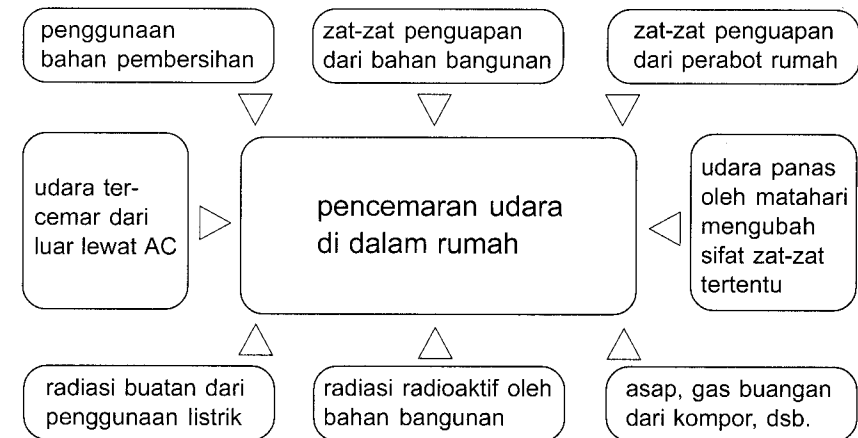
Pengaruh udara
Penyegaran udara secara alami merupakan tuntutan kesehatan manusia dan ekologi. Menghindari penggunaan AC

Kualitas bangungan
dan kesehatan penghuni dipengaruhi oleh berbagai aspek

Pada penelitian pembangunan dan kesehatan diungkapkan bahwa pencemaran udara menjadi alasan gangguan kesehatan manusia yang primer. Pencemaran udara oleh limbah gas terjadi baik di luar maupun

1 Schwarz, Jutta. *Gesund leben – gesund wohnen.* Dalam: majalah SI+A no. 46. Zürich 1988. hlm. 1269.

di dalam rumah, di mana sering kali terjadi lebih parah. Pencemaran tersebut harus diperhatikan dengan saksama karena manusia dalam keadaan tidur jauh lebih peka daripada waktu bangun, dan anak kecil ± 30 kali lebih peka terhadap zat pencemar udara tersebut.

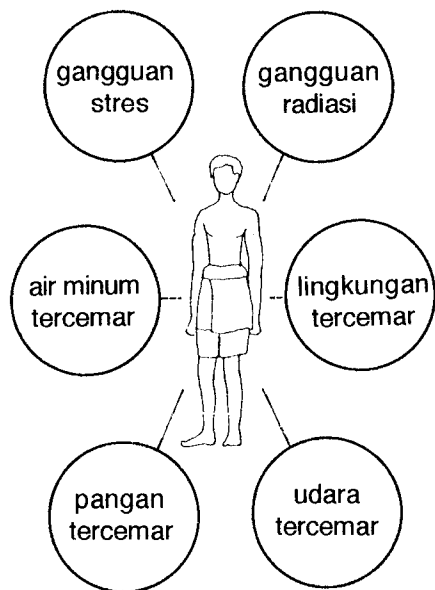
Pencemaran udara di dalam rumah[2] berasal dari:

Sumber masalah gangguan kesehatan manusia lewat indra penciuman:[3]

Jenis pekerjaan	Bahan bangunan yang mengganggu kesehatan manusia	Bahan bangunan yang merupakan sumber masalah	Jenis penyakit yang bisa timbul
Pekerjaan kayu	Bahan bangunan kayu yang dilem	Perekat yang mengandung fenol/ formaldehide	Alergi kulit, gangguan selaput lendir, dicurigai mutagen dan kasinogenik (< 0.1 ppm = 1 cm^3/m^3 tidak mengganggu lagi)
	Konstruksi kayu yang diawetkan	Pengawetan dengan ter (penyulingan batu bara)	Kanker

2 Rose, Wulf-Dietrich. *Schadstoffbelastung der Innenraumluft.* Di dalam: SIA Dokumentation D 046, *Schadstoffarmes Bauen.* Zürich 1989. hlm. 61.

3 Sumber informasi gangguan kesehatan adalah antara lain: Zwiener, Gerd. *Ökologisches Baustoff Lexikon.* Heidelberg 1994 Katalyse e.v. (ed.) *Das Umweltlexikon.* edisi ke-3. Köln 1993.

Jenis pekerjaan	Bahan bangunan yang mengganggu kesehatan manusia	Bahan bangunan yang merupakan sumber masalah	Jenis penyakit yang bisa timbul
Pekerjaan kayu	Pekerjaanpenyelesaian akhir	Penggunaan politur (Etilalkohol)	Alergi kulit, mata, gangguan selaput lendir
		Penggunaan melamin (Urea formaldehide)	
Instalasi saniter	Pipa-pipa air bersih dari PVC	PVC-Polivinylklorida	Kanker, kalau dibakar menguapkan asam klorida (menyebabkan matinya tumbuh-tumbuhan)
		Lem kontak	Penyakit hati dan ginjal, kanker
Pekerjaan lapisan isolasi	Lapisan kedap air	Bitumen hidrokarbon	Penyakit kulit jika berhubungan lama; dicurigai penguapan jadi kasinogenik
	Lapisan pelindung termis	Styrol	Sakit kepala, kelelahan dan depresi, gangguan tingkah laku dan mata, rasa mual, dicurigai penguapan jadi mutagen dan kasinogenik
Pekerjaan lantai	Vinil 30/30 cm dan karpet plastik (PVC)	PVC-Polivinylklorida	Kanker, kalau dibakar menguapkan asam klorida (menyebabkan matinya tumbuh-tumbuhan)
		Lem kontak	Penyakit hati dan ginjal, kanker
	Karpet nylon yang dilem	Lem kontak	Penyakit hati dan ginjal, kanker

Jenis pekerjaan	Bahan bangunan yang mengganggu kesehatan manusia	Bahan bangunan yang merupakan sumber masalah	Jenis penyakit yang bisa timbul
Pekerjaan cat	Cat PVC/emulsi (cat tembok)	PVC-Polivinylklorida	Kanker, kalau dibakar menguapkan asam klorida (menyebabkan matinya tumbuh-tumbuhan)
		Amoniak sebagai bahan pencair	Penyakit kulit, gangguan pernapasan
Pekerjaan cat	Cat sintetis	Tinner sebagai bahan pencair	Mempengaruhi saraf, darah dan pernapasan
	Cat meni (cat besi)	Mengandung plumbum oksida	Meracuni tulang, gigi, otak. Mengakibatkan kanker
	Cat epoksi dan vernis epoksi	Etylalkohol sebagai bahan pencair	Mata buta, gangguan keseimbangan, selaput lendir
		Epoksi mesin	Eksim pada kulit, gangguan pernapasan
Pekerjaan langit-langit	Lembar gelombang/ datar asbes semen	Asbes (serat mineral yang sangat halus)	Asbestose (penyakit paru-paru), kanker
Bahan gas (Radon)	Tanah di tempat bangunan dan bahan bangunan tanah	Gas radioaktif yang menguap keluar dari dalam tanah	Mutagen dan kasinogenik

Walaupun dapat dibayangkan bahwa ancaman gangguan kesehatan akibat bahan bangunan yang mengandung zat-zat bahaya terjadi cukup luas, ketentuan zat-zat mana yang mengakibatkan penyakit tertentu sulit sekali dibuktikan.

Gangguan kesehatan manusia[4]

Sudah ada ketentuan sebelumnya bahwa rumah dapat dianggap sebagai kulit manusia ketiga, atau pakaian di luar pakaian yang mengenai tubuhnya. Membeli rumah dapat dibayangkan dengan seorang yang membeli kemeja baru, ada yang sintetis dan ada yang dari katun. Tentu saja pembeli merasa lebih segar dalam kemeja dari katun walaupun kurang lama tahan dan membutuhkan alat setrika dan sebagainya.

Alasan penyakit kepala, rasa mual, suhad, rasa lelah, dan stres sering tidak dapat dibuktikan walaupun berhubungan erat dengan rumah tersebut, misalnya karena pindah rumah atau membangun rumah baru. Gangguan kesehatan tersebut dinamakan *'sick-building-syndrom'*[5] (sindrom penyakit rumah) dan kesulitan pembuktiannya terletak pada faktor-faktor pengganggu kesehatan manusia yang sangat berbeda, mulai dari bahan bangunan, pencemaran udara oleh lalu lintas, atau limbah air oleh industri, dan sebagainya.

4 menurut: Stewen, Raimund. *Biologisch Renovieren.* Köln 1987. hlm. 9.

5 lihat juga: Österreichisches Institut für Baubiologie. *Sick Building Syndrom.* Laporan rapat: Baubiologischer Kongress, Gmunden 1992.

4.2 Klasifikasi bahan bangunan yang ekologis

Klasifikasi umum tentang bahan bangunan disusun menurut tabel berikut.

Golongan	Bahan bangunan	Contoh bahan
Bahan bangunan alam	anorganik: – batu alam – tanah liat – tras	 – batu kali, kerikil, pasir – batu merah – batako (tras, kapur, dan pasir)
	organik: – kayu – bambu – daun-daun dsb.	 – jati, meranti, kamper, dll. – petung, ori, gading, dll. – rumbia, ijuk, alang-alang, dll.
Bahan bangunan buatan	yang dibakar	– batu merah, genting, pipa tanah liat, dll.
	yang dilebur	– kaca
	yang tidak dibakar	– pipa dan genting beton, batako dan conblok
	teknik kimia	– plastik, bitumen, kertas, kayu lapis, cat, dll.
Bahan bangunan logam	logam mulia	– emas, perak, dsb.
	logam setengah mulia	– air raksa, nikel, kobalt, dll.
	logam biasa dengan berat > 3.0 kg/dm³	– besi, plumbum, dll.
	logam biasa dengan berat < 3.0 kg/dm³	– aluminium, dsb.
	logam campuran	– baja, kuningan, perunggu, dll.

Klasifikasi umum tentang bahan bangunan digolongkan atas bahan bangunan alam, bahan bangunan buatan, dan logam menurut tabel di atas. Bahan bangunan alam seperti batu alam, tanah liat, kayu, bambu, dan sebagainya pada umumnya manusia masih tahu cara penyediaannya, sedangkan pada bahan bangunan yang modern seperti tegel

keramik, pipa plastik, cat, perekat, dan sebagainya tidak ada yang mengetahui proses pembuatan serta campuran bahan mentahnya.

Karena penggolongan bahan bangunan ini juga kurang memperhatikan tingkat teknologi dan keadaan entropinya, serta pengaruhnya atas ekologi dan kesehatan manusia, maka lebih baik bahan bangunan digolongkan menurut **penggunaan bahan mentah dan tingkat transformasinya** sebagai berikut.

- **Bahan bangunan yang dapat dibudidayakan kembali** (regeneratif), yaitu bahan nabati seperti:
  kayu, rotan, rumbia, alang-alang, serabut kelapa, ijuk, kulit kayu, kapas, kapok, dan lain-lain;
  kemudian bahan hewani seperti:
  kulit binatang, wol, dan sebagainya.
  Semuanya dapat dibudidayakan kembali (misalnya kayu membusuk atau membakar menjadi karbon yang pada tanah berfungsi sebagai pupuk pohon kayu generasi berikutnya) menurut keperluan dalam suatu peredaran alam yang tertutup. Bahan bangunan ini biasanya murni, dalam arti kata bebas dari alat/bahan pengotor dan dalam keadaan masih hidup dapat juga menampung sebagian alat/bahan pengotor. Persiapan dan penggunaan bahan bangunan ini dilakukan pada tempat di mana bangunan akan didirikan dengan penggunaan energi yang minim dan dengan teknologi/kepandaian pertukangan yang sederhana.
- **Bahan bangunan alam yang dapat digunakan kembali** ialah bahan bangunan yang tidak dapat dihasilkan lagi, tetapi dengan memperhatikan kebutuhan, bahan tersebut dengan persiapan khusus dapat digunakan lagi, seperti misalnya:
  tanah, tanah liat, lempung, tras, kapur, batu kali, batu alam, dsb.
- **Bahan bangunan buatan yang dapat didaur ulang** (*recycling*) ialah bahan bangunan yang didapat sebagai:
  limbah, potongan, sampah, ampas, dan sebagainya dari perusahaan industri, dalam bentuk:
  bahan bungkusan (misalnya *kaleng, botol,* dsb.) *mobil bekas, ban mobil bekas, serbuk kayu, potongan bahan sintetis, kaca, seng* (misalnya dari tempat bangunan yang lain), atau *bermacam-macam kain.*
  Oleh karena tujuan pembangunan ekologis akhirnya berarti bahwa potongan, sampah, ampas, dan sebagainya di atas tidak akan terdapat lagi di dalam masyarakat yang hidup seimbang dengan lingkungan alamnya, maka golongan bahan bangunan ini akan hilang.
- **Bahan bangunan alam yang mengalami perubahan transformasi sederhana** ialah bahan bangunan yang disediakan secara industrial, seperti misalnya:
  batu buatan (batu merah) dan *genting* (genting flam dan genting pres) yang dibakar sebagai bahan bangunan tertua yang diciptakan manusia. Bahan mentahnya tanah liat yang terdapat di mana saja (lokal). Pembuatan batu merah dan genting sebagai hasil 'home industri' yang biasanya dilakukan oleh rakyat di desa-desa setempat dan yang mendukung pengertian bangunan ekologis.
  Bahan bangunan alam lain yang disediakan secara industrial ialah *batu buatan yang tidak dibakar* (batako dan conblok) yang sebenarnya sudah masuk golongan bahan bangunan komposit. Di samping bahan bangunan yang dibakar, dapat disini disusun juga bahan bangunan yang dilebur seperti:
  logam dan *kaca.*
  Sebagai bahan lepa/perekat di sini dapat digolongkan:
  semen merah, kapur mentah, kapur padam, kapur kering, dan semen portland.
- **Bahan bangunan yang mengalami beberapa tingkat perubahan transformasi**[6] ialah bahan bangunan seperti:
  plastik dan *bahan sintetis* yang lain dan yang tentunya tidak dapat dinamakan 'ekologis'. Dengan keadaan iklim dan teknologi bangunan di Indonesia, misalnya, baik bahan plastik maupun bahan sintetik sebagai bahan bangunan sekitar 90% dapat diabaikan. Bahan bangunan plastik/sintetik berdasarkan bahan mentah fosil (bekas binatang dan tumbuhan zaman dahulu yang menjadi minyak bumi, arang, atau gas). Bahan bangunan plastik/sintetik membutuhkan banyak energi pada produksinya.
  Sebagai bahan lepa/perekat di sini dapat digolongkan bahan sintetis seperti: *epoksi* dsb.
- **Bahan bangunan komposit** merupakan bahan bangunan yang tercampur menjadi satu kesatuan yang tidak dapat dibagi-bagikan lagi sebagai bagian bangunan seperti:

6 Lihat juga pada bab ini: Rantai proses produksi, hlm. 115-116 berikut.

beton, pelat serat semen, pelat serutan/tatal kayu semen, cat kimia, dan perekat.

Bahan bangunan yang ekologis memenuhi syarat-syarat berikut.

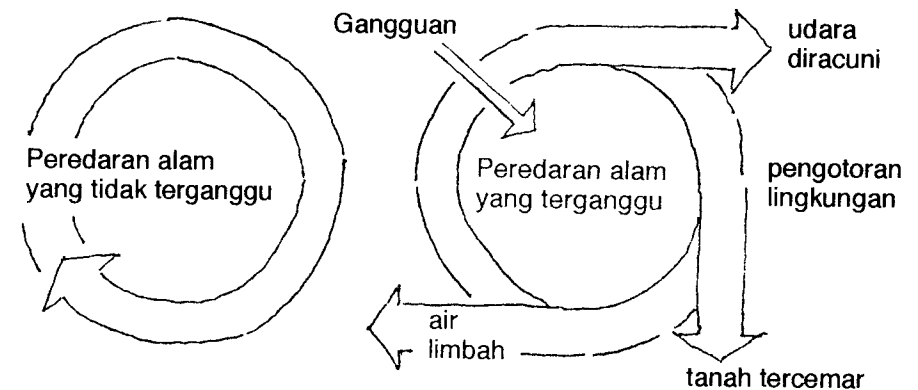
- Eksploitasi dan pembuatan (produksi) bahan bangunan menggunakan energi sesedikit mungkin.
- Tidak mengalami perubahan bahan (transformasi) yang tidak dapat dikembalikan kepada alam.
- Eksploitasi, pembuatan (produksi), penggunaan, dan pemeliharaan bahan bangunan mencemari lingkungan sesedikit mungkin (keadaan entropinya serendah mungkin).
- Bahan bangunan berasal dari sumber alam lokal (di tempat dekat).

Bahan bangunan yang ekologis selalu berkaitan dengan sumber alamnya[7] sebagai berikut.

Eksploitasi menghancurkan	**Kesinambungan** menjamin keseimbangan
menghabiskan tiada sisa sumber terbatas	*dicadangkan untuk masa depan* hampir tiada kehabisan sumber tidak terhingga
dengan biaya besar dapat dikembalikan atau dapat dipugar	*selalu tumbuh lagi secara alami* dapat dibudidayakan dengan mudah
baru sesudah waktu lama dapat dimanfaatkan lagi mengadakan regenerasi	*secara langsung atau tidak langsung* dapat digunakan lagi, resikling
merusak kelestarian dihisap sampai habis	*kultivasi mendukung alam* kerjasama dengan alam

7 menurut: Schmid, Peter. *Bio-logische Baukonstruktion.* Köln 1986. hlm. 47.

4.3 Peredaran bahan dan rantai bahan

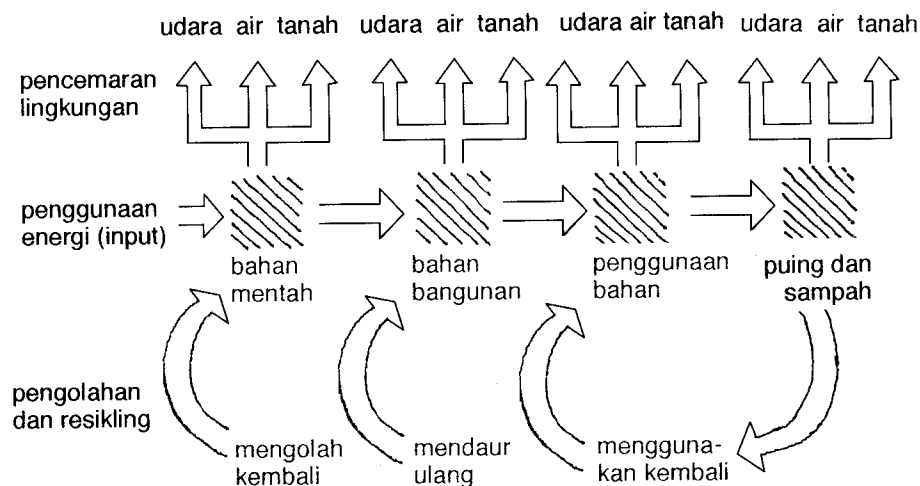
Peredaran bahan yang alami tidak mengakibatkan pencemaran udara, air, dan tanah karena bentuknya tertutup. Dengan kegiatan manusia semua peredaran bahan terputus dan mengakibatkan pencemaran udara, air, dan tanah serta sampah dan sebagainya karena bentuk peredaran yang terputus-putus dan bocor di mana-mana.

Peredaran alam yang utuh dan peredaran yang terganggu

Untuk memperdalam pengertian tentang apa yang terjadi pada eksploitasi bahan mentah, pada produksi bahan jadi, dan pada persiapan/pembangunan sebuah rumah, harus diketahui bahwa dunia terdiri dari materi, energi, dan informasi:

- **Materi** adalah bahan mentah yang digunakan untuk dijadikan bahan bangunan.[8]
- **Energi** dibutuhkan untuk mengubah bahan mentah ke dalam bahan bangunan. Sebagai contoh, minyak bumi bisa mempunyai dua kegunaan, yaitu sebagai bahan mentah untuk bahan sintetik misalnya, tetapi juga dapat menjadi sumber energi untuk membangkitkan tenaga listrik[9] (tenaga manusia untuk mengolah dan menyusun bahan bangunan juga termasuk perhitungan energi).
- **Informasi** dimiliki oleh semua benda dan makhluk di dunia ini. Informasi mendukung tujuan dalam konsep ekologis, yaitu penentuan

8 lihat juga bab 1.4 Unsur pokok eko-arsitektur (bumi) hlm. 34-35.

9 *ibid.* (api) hlm. 32-33.

perbandingan yang paling menguntungkan di antara biaya dan keuntungan dari energi yang dapat dibudidayakan lagi dan energi yang tidak dapat diperbarui.[10]

Gambar rantai bahan

Rantai bahan bangunan[11] menerangkan proses dan tingkatan pengembangan (riwayat hidup bahan) bahan bangunan pada umumnya (dari bahan mentah sampai menjadi puing dan sampah) dengan perhatian pada setiap tingkat perubahan transformasi, penggunaan energi, dan pencemaran lingkungan (air, udara, dan tanah).

Pengertian rantai bahan bangunan sebagai riwayat hidup bahan (*Life Cycle Assessment – LCA*) makin lama makin penting dalam penilaian bahan bangunan yang ekologis, dan pola berpikir yang berkait sering berbeda-beda.[12]

Pemilihan bahan bangunan akhirnya tidak tergantung pada penggolongannya saja, melainkan dibutuhkan tambahan data-data teknis (termasuk cara produksinya) sehingga terdapat penentuan bahan bangunan yang paling ekologis.

10 lihat juga bab. 6: Radiasi teristis, kosmis dan teknis. hlm. 132-154.

11 Steiger, Peter. *Bauen und Oekologie im Dialog.* Di dalam: SIA Dokomentation D 046. *Schadstoffarmes Bauen.* Zürich 1989. hlm. 10.

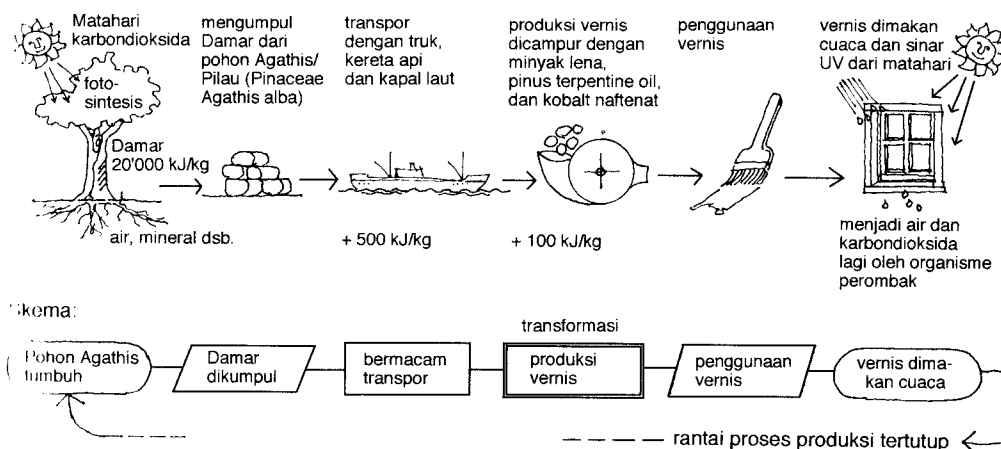
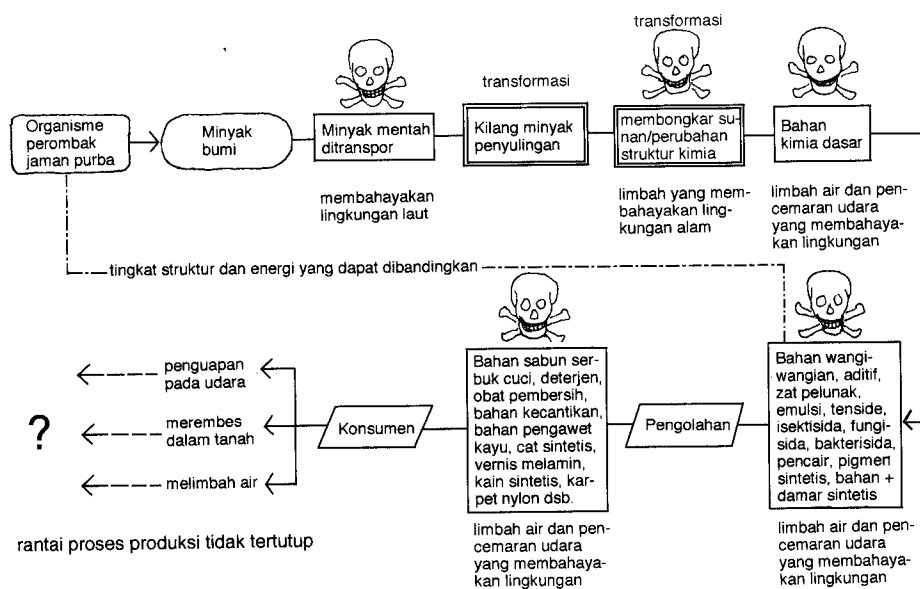
12 lihat: Schaltegger, S. (ed.) *Life Cycle Assessment (LCA) – Quo vadis?* Basel 1996; serta: Haas, Michiel. *TWIN-model, Milieu Classificatie-model Bouw.* Diss. Bussum 1997.

Rantai proses produksi

Rantai proses produksi harus diperhatikan kalau mau menghindari terjadinya bahan bangunan yang membebani lingkungan, berhubungan dengan pencemaran udara, peracunan air, limbah, dan sebagainya. Bahan mentah yang terambil dari bumi adalah bahan pinjaman yang sesudah dipakai harus dikembalikan di kemudian hari. Hal ini berarti bahwa semua proses yang dilakukan dengan bahan mentah tersebut harus diproses kembali sehingga bahan awal akan kembali ke bumi.

Rantai proses produksi dapat menimbulkan masalah-masalah berikut.

- Jika hanya terdiri dari beberapa proses produksi yang sederhana, bisa dipastikan produk tersebut menggunakan sumber mentah yang sedikit, pencemaran air, udara, dan tanah yang tidak besar, dan biasanya dibutuhkan biaya produksi agak rendah pula.
- Proses produksi yang rumit pada umumnya memiliki ketergantungan yang kompleks dan pengendalian pencemaran air, udara, dan tanah yang tidak optimal. Dengan begitu, penggunaan sumber bahan mentahnya besar dan pemusnahan limbah menjadi rumit dan membahayakan generasi-generasi berikut. Pengembalian sumber bahan mentah kepada alam seperti pada keadaan awal tidak mungkin lagi – peminjaman bahan menjadi pencurian bahan alam.

Rantai proses produksi damar (Contoh 1):

Rantai proses produksi bahan petrokimia (Contoh 2):[13]

Karena data-data teknis dan data produksi masing-masing bahan bangunan sering tidak memuaskan, maka penilaian bahan bangunan dari segi ekologi memberi gambaran perkiraan saja, seperti terlihat pada tabel penilaian bahan bangunan ekologis sebagai berikut. Tahapan yang dinilai pada bahan bangunan masing-masing ialah:

- penggunaan energi pada eksploitasi dan produksi;
- pencemaran lingkungan pada produksi bahan bangunan;
- banyaknya kebutuhan transportasi dan jaraknya;
- pencemaran lingkungan pada pembangunan dan pemeliharaan;
- kemungkinan bahan bangunan yang dapat digunakan kembali;
- kemungkinan puing dan sampah yang dapat dibuang di TPA; dan
- akibat/pengaruh atas kesehatan manusia.

13 Contoh 1 dan 2 rantai proses produksi menurut: Fischer, Hermann. *Oberflächenbehan dlung mit Naturfarben*. Dalam: SIA Dokumentation D 046. *Schadstoffarmes Bauen*. Zürich 1989. hlm. 42, 44.

Tabel penilaian bahan bangunan ekologis

titik pokok ekologis / bahan bangunan	penggunaan energi primer kWh/m³	pencemaran udara, air, tanah pada produksi	dapat dibudidayakan	dapat digunakan kembali	bahan mentah agak dekat	dapat diproduksi secara desentral	pengaruh atas kesehatan manusia
Dinding:							
Kayu	30						
Batu merah	130						
Batako	80						
Beton	105						
Batu alam	10						
Kaca	60						
Aluminium	350						
Atap:							
Rumbia, Ijuk	2						
Genting tanah liat	25						
Genting beton	25						
Semen berserat	15						
Seng	70						
Baja	550						
Lantai:							
Tegel keramik	5 - 10						
Papan kayu	30						
PVC	120						
Permadani	40						
Lain-lain:							
Cat sintetis	20						
Pipa baja	5						
Pipa plastik	30						

Penilaian perkiraan saja dapat dilakukan dengan memberi tanda:

+ = pengaruh positif
o = neutral
– = pengaruh negatif
? = tidak diketahui

Tugas 8:

Tabel penilaian bahan bangunan ekologis di atas memberi gambaran tentang dampak bahan bangunan atas lingkungan alam dan kesehatan penghuni.

Mengisi tabel tentang penilaian bahan bangunan ekologis (halaman 117). Mulai dengan salah suatu bahan bangunan yang terkenal dan memberi tanda dalam tabel sebagai berikut: + = pengaruh positif; – = pengaruh negatif; 0 = pengaruh netral; dan ? = tidak diketahui.

Harus diperhatikan bahwa jawaban pada bahan bangunan masing-masing tidak dapat dijumlahkan karena misalnya tanda + pada persiapan bahan bangunan mungkin tidak berbobot sama dengan tanda + pada pengaruh atas kesehatan manusia. Ketentuan bahwa satu tanda + meniadakan satu nilai – tidak benar serta persoalan efek sinergi yang juga belum diperhatikan. Hal ini berarti bahwa isi tabel tersebut hanya memberi gambaran kasar tentang bahan bangunan yang nilainya ekologis baik atau kurang baik.

5. Membangun kembali dan resikling

Membangun kembali berarti membongkar dengan saksama dan/atau memperbaiki kesalahan yang telah dibangun sehingga dosa-dosa arsitek masa kini dapat dimaafkan. Istilah 'membangun kembali' mengandung empat persyaratan dasar[1], yaitu:

1. *Menghindari monokultur.* Seperti monokultur dalam tanaman mengakibatkan kematian jenis tanaman tersebut, monokultur dalam arsitektur akan mengakibatkan kematian peradaban.
2. *Meningkatkan mobilitas mental* dan mengurangi mobilitas lalu lintas. Jaringan jalan mobil dibangun dengan jalan yang sempit (3.5 m satu arah dan 5.0 m untuk dua arah) dan jaringan besar dengan jarak tempuh yang leluasa. Jalan utama adalah gang atau jalan sempit untuk pejalan kaki dan pengendara sepeda.
3. *Membatasi penggunaan energi.* Pajak energi membuat energi lebih mahal bagi orang yang menggunakan banyak energi. Dalam perumahan misalnya juga ada batasan maksimal (2200 W) sehingga pasangan AC sangat terbatas.
4. *Struktur gedung yang ada dapat digunakan kembali* (*building-recycling*) yang memungkinkan pemanfaatan gedung yang ada dan yang tidak mempunyai kepentingan lain dapat didaur ulang. Sering kali perubahan penggunaan gedung dapat dilakukan tanpa arsitek, tetapi diperlukan adanya instansi penasihat.

Dalam hal resikling perlu diperhatikan, bahwa dalam hubungannya dengan bahan bangunan istilah 'resikling' agak umum dan mengandung istilah (3 **di-**) sebagai berikut:

- ***di****olah kembali,* berarti bahan bangunan yang sudah dipakai dapat diolah (digiling, dilebur, diproses, dsb.) sehingga menjadi bahan yang asli kembali, ada bahan lain yang dapat dimanfaatkan;
- ***di****daur ulang,* berarti bahan bangunan, yang sudah dipakai dapat didaur ulang (batu tanah liat yang direndam dan dicetak ulang,

1 lihat: Schilling, Rudolf *Rückbau und Wiedergutmachung.* Basel 1987. hlm. 42.

konstruksi atap kayu menjadi kosen, dsb.) dalam peredaran ulang atau rantai bahan; atau

- *digunakan kembali,* berarti bahan bangunan, yang sudah dipakai, langsung dapat dipakai lagi (genting, kaca, batu alam yang ditarah, dan sebagainya).

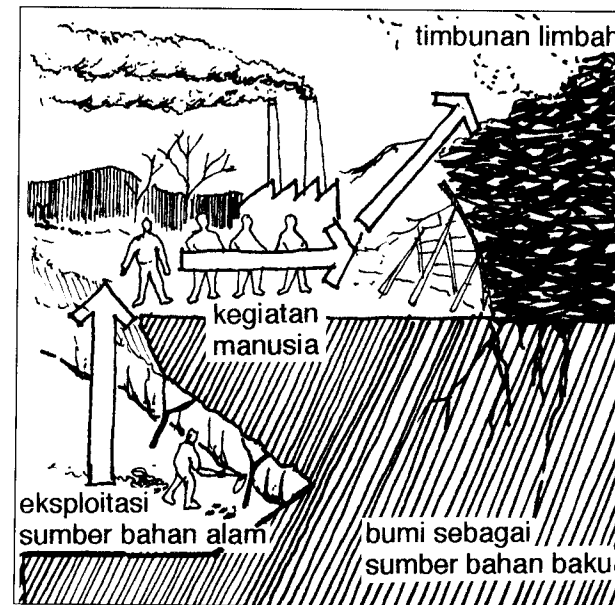
Memperbaiki kesalahan yang telah dibangun sehingga dosa-dosa arsitek masa kini dapat dimaafkan

5.1 Sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan dan pengolahannya

Peradaban masa kini adalah masyarakat makmur. Prinsip konsumen adalah linear yang berarti sumber alam dieksploitasi tanpa menghiraukan kelestarian dan sampah dibuang ke TPS dan TPA sebagai timbunan tanah (yang sering kali kurang terkontrol). Di samping sampah dari pemukiman, perdagangan dan perindustrian, maka sampah dari sisa bangunan dan puing-puing konstruksi gedung merupakan bagian yang menonjol. Sampah dan sisa bangunan tersebut menonjol karena terlihat di sekeliling, pada setiap tempat bangunan. Sampah adalah hasil peradaban modern karena kebudayaan lama belum mengenal sampah.[2]

2 Lihat: Institut für Baubiologie/Bauökologie. (ed.) *Leitfaden: Die Baubiologie.* Zürich 1995. hlm. 3.49-3.50.

Sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan dan pemugaran gedung terdiri dari bahan organik (kayu, tripleks, bambu, dsb.) dan bahan anorganik (semen, pasir, batu bata, ubin, besi dan baja, kaca, kaleng, cat sintetis, pipa plastik, dan bahan sintetis lainnya).[3]

Makin lama makin banyak sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan merupakan suatu campuran dari bermacam-macam bahan, sisa-sisa dan limbah yang tidak dapat didaur ulang lagi, bahkan untuk diolah kembali. Hal ini menyebabkan sampah tersebut harus dibuang ke TPA atau ditimbun secara liar atau dibakar saja. Setiap penyelesaian tersebut mengakibatkan pencemaran pada lingkungan alam (meracuni tanah dan air tanah, mencemari udara dan mengotori air sungai, dsb.). Setiap perkembangan di pasar bahan bangunan akan menimbulkan tambahan pengaruh negatif tersebut. Kalau manusia selalu bertindak sembrono, lalai, tidak peduli, tidak bertanggung jawab, atau hanya sekedar mencari keuntungan cepat saja, lingkungan alam akan menderita kerusakan dan kualitas kehidupan manusia akan menurun.

Eksploitasi sumber bahan alam dan penumpukan sampah yang berasal dari kegiatan manusia termasuk polusi membahayakan dasar-dasar hidup manusia.[4]

3 Lihat: Dwi Prihanto/Agung Suprihatin/Michel Gelbert. *Sampah dan pengelolaannya.* Buku pegangan guru untuk wallchart 006. Draft. Malang 1996. hlm. 9.

4 Bdk.: Krusche, Per et al. *Oekologisches Bauen.* Wiesbaden 1982. hlm. 307.

Berhubungan dengan sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan, kita harus bertanggung jawab terhadap kelestarian lingkungan kita yaitu dengan memilih bahan bangunan yang ekologis saja.

Jenis sampah asal kegiatan pembangunan dan cara pengolahannya:

Sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan	diolah kembali	didaur ulang	digunakan kembali
Bahan organik: kayu	dibakar dan abunya diserap kembali oleh kayu menjadi akar tumbuhan	konstruksi atap dan pintu yang kosen dsb.	kosen, jendela masih dalam keadaan baik
tripleks	dibakar dan abunya diserap kembali oleh akar tumbuhan (awas mengandung fenol/ formaldehide)		bekisting beton tripleks dapat menjadi pelat langit-langit
bambu	dibakar dan abunya diserap kembali oleh akar tumbuhan		
kertas/kardus	dikumpulkan + diproses ulang menjadi kertas kembali (menghemat ± 50% energi)		pembungkus barang-barang
Bahan anorganik: tanah galian			tanah timbunan
tanah liat	dicetak dan dibakar menjadi batu bata, genting flam, dsb.	dicetak batu tanah liat	
pasir / kerikil	dicampur semen menjadi beton		lapisan kersik buat jalan
ubin / genting beton	digiling menjadi pasir		lapisan pecahan batu buat jalan
batu-bata, genting flam	digiling menjadi semen merah		
kaca	dilebur menjadi kaca baru		pasang pada jendela yang lain
logam (besi, baja, kaleng, dsb.)	dilebur menjadi logam baru	dipotong/dilas dan dibentuk baru	digunakan sebagai tulangan dalam beton
Bahan sintetis: pipa plastik dsb.	diproses lagi menjadi bahan sintetis berkualitas rendah	dipotong/dilem disambung pipa, (mis. pipa air) lagi	
cat sintetis			sisa digunakan pada tempat lain

Susunan sampah[5] dapat dianggap sebagai berikut:

– Tanah galian	32 %
– Sampah yang berasal dari pemukiman	31 %
– Sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan	26 %
– Sampah yang berasal dari perindustrian dan perdagangan	8 %
– Sampah khusus (mis. rumah sakit) dan lain-lain	3 %
Jumlah total ± 475'000 m³/hari di Indonesia	100 %

Susunan sampah yang berasal dari pemukiman di DKI Jakarta:[6]

– Sampah organik	74 %
– Kertas/kardus	10 %
– Plastik dan bahan sintetik	8 %
– Logam	2 %
– Gelas/botol/kaca	2 %
– Kayu	1 %
– Kain, karet dan lain-lain	3 %
Jumlah bermacam-macam sampah di Jakarta	100 %

5.2 Pengelolaan sampah di Indonesia

Sampah dari pemukiman di daerah pedesaan pada umumnya bisa diatasi oleh masing-masing keluarga dengan membakar atau menimbun dalam tanah. Dengan demikian dijadikan pupuk tanaman.

Untuk daerah perkampungan kota dengan penduduk yang cukup padat dan sebagian besar sampah terdiri dari bahan anorganik dan sintetik seperti botol, plastik, dan sebagainya, maka sampah ditampung pada penampungan tertentu.

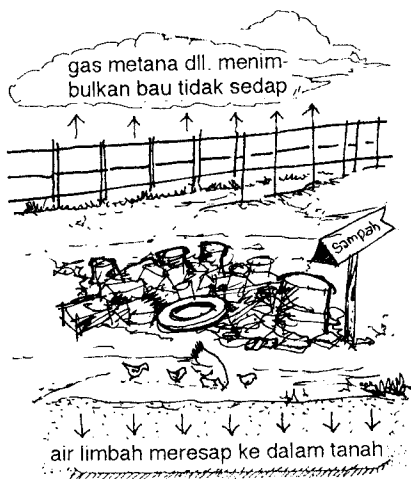
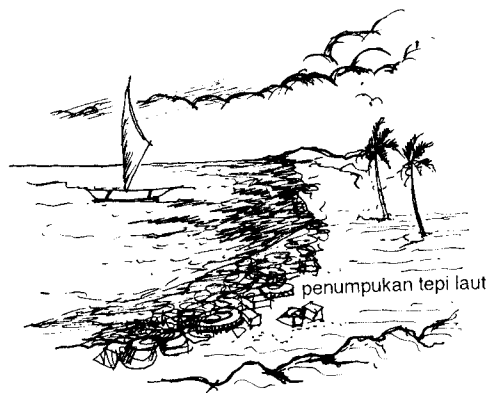
Pengumpulan sampah pemukiman tersebut menggunakan gerobak, dikumpulkan dan dibawa ke lokasi TPS. Angkutan sampah dari tem-

5 Angka % ini dari Jerman menurut: Tomm, Arwed. *Oekologisch planen und Bauen.* Wiesbaden 1992. hlm. 12.

6 Data statistik lingkungan hidup Indonesia 1992. Dikutip dari: Dwi Prihanto et al. *op.cit.* hlm. 32.

pat penampungan sampah sementara oleh truk menuju ke lokasi TPA.[7]

Penumpukan sampah di Indonesia sering menyebabkan polusi tidak terkontrol, karena sampah dibuang di pinggir jalan, tanah yang kosong atau di tepi sungai dan di tepi laut. Akibat pencemaran adalah pelbagai gas (metana dan karbondioksida), mineral asam (asam-sulfat, natrium dan sulfur), serta cairan limbah (yang merembes ke dalam tanah) yang pekat sangat menyengat dan bisa menimbulkan gatal. Perembesan ini sudah sering tercampur air tanah permukaan dan mencemari sumur gali penduduk.

Penumpukan sampah secara liar (*open dumping*) dapat mengancam lingkungan dan merupakan sumber berbagai penyakit serta air tanah akan tercemar.[8]

Masalah penumpukan liar (*landfill* tidak terkontrol)

Masalah penumpukan liar di tepi laut (*open dumping*)

Penumpukan sampah secara terkontrol

Salah satu aturan pengolahan sampah pada TPA yang terkontrol adalah *sanitary landfill* dengan sistem sanitasi yang baik, sampah pada TPA dipadatkan dengan buldoser setebal 1.50 – 2.00 m dan selanjutnya ditimbun dengan tanah.

7 Uraian ini menurut: Direktorat Perumahan. *Rumah sehat dalam lingkungan sehat.* Jakarta, n.d. hlm. 51-53.

8 Uraian ini termasuk dasar ilustrasi dari: Dwi Prihanto et al. *op.cit.* hlm. 29-30.

Pada bagian bawah, sebagai dasar di atas tanah stabilisasi dan urugan pasir diberi lapisan geotekstil (*plastic coated felt web*) dan 30 cm kerikil sebagai saluran air yang limbahnya kemudian diolah sebelum disalurkan ke sungai atau merembes ke dalam tanah. Begitu juga dilengkapi dengan pipa-pipa gas buang yang dihasilkan dari aktifitas penguraian sampah.[9]

Masalah penumpukan sampah terkontrol (TPA) sebagai *sanitary landfill*

Susunan lapisan masing-masing pada TPA:

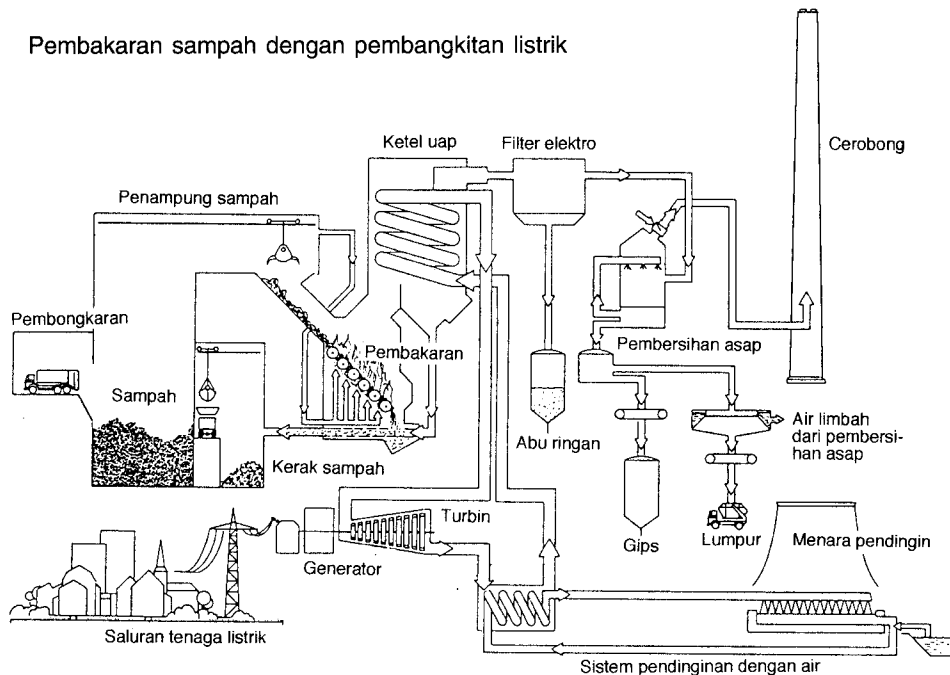
- Tanah penutup
- 1.5 - 2.0 m sampah yang dipadatkan
- 30 cm kerikil sebagai drainase
- Geotekstil (lapisan pengaman air tanah)
- Urugan pasir

Tanah asli distabilisasi

9 Uraian ini termasuk dasar ilustrasi dari: Dwi Prihanto et al. *op.cit.* hal. 47-48, dan yang berdasarkan sumber: Sattler, Klaus/Emberger, Jürgen. *Behandlung fester Abfälle.* edisi ke-3. Würzburg 1992. hlm. 117-135.

Pembakaran sampah

Sampah yang padat sebenarnya juga dapat dibakar pada suatu perusahan pembangkit listrik dengan cara membakar sampah. Hasil pembakaran adalah gas panas bernilai ± 5 GJ/h (jika membakar 5 m^3 per jam) yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan uap dan dengan turbin uap dapat membangkitkan tenaga listrik. Penurunan volume hasil pembakaran dapat mencapai 70% dari sampah padat.[10] Akan tetapi filter-filter untuk mencegah pencemaran udara, harganya mahal dan karena itu sistem pembakaran sampah adalah sistem yang paling mahal.

Pembakaran sampah dengan pembangkitan listrik

Mengingat kesulitan dan biaya besar untuk pengelolaan sampah di Indonesia apakah sampah itu ditumpuk pada tempat pembuangan liar atau TPA terkontrol maupun jika akan diusahakan oleh perusahan pembangkit listrik dengan cara membakar sampah, maka sebaiknya menghindari terjadinya sampah dengan memperhatikan empat M tentang sampah sebagai berikut:

10 Uraian ini termasuk ilustrasi dari: Sattler, Klaus/Emberger, Jürgen. *op.cit.* hlm. 163-181, serta: Hämmerli, Herbert. *Grundlagen zur Berechnung von Müllfeuerungen.* Dalam: majalah SI+A, no. 19. Zürich 1983. hlm. 505-520.

- Menghindari terjadinya sampah
- Mengurangi banyaknya sampah
- Menggunakan kembali sampah sebanyak mungkin
- Membuang sampah pada TPA terkontrol.

Ketentuan tersebut berlaku baik untuk sampah pemukiman, sampah yang berasal dari kegiatan pembangunan, maupun sampah industri dan perdagangan.

5.3 Ekolabel Indonesia

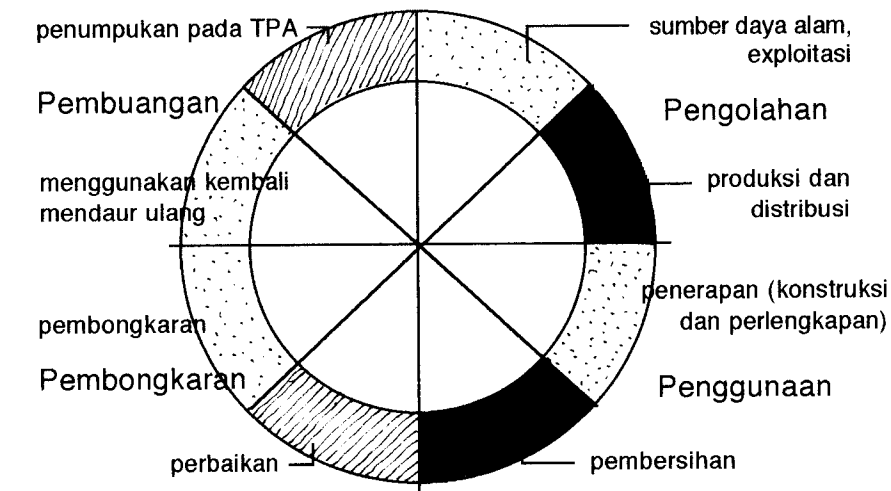
Sampai saat ini Indonesia belum memiliki *ekolabel* dan segala kebutuhan kehidupan (sandang, papan, pangan) si konsumen yang dipasarkan sangat kurang dilengkapi informasi mengenai dampak atas kehidupan dan kesehatannya. Oleh karena itu dibutuhkan informasi yang penting tentang komposisi semua bahan yang dipasarkan (*product-declaration*) secara transparan. Sarana ekolabel Indonesia yang akan diciptakan harus meliputi segala produk kehidupan manusia[11] (sandang, papan, pangan).

Ekolabel Indonesia harus memberikan informasi tentang pengaruh terhadap ekologi dan lingkungan selengkap mungkin dan sesederhana mungkin kepada para konsumen. Untuk konsumen yang mengingkinkan informasi lebih lanjut/lebih dalam, maka sebaiknya disediakan petunjuk pemakaian yang lebih lengkap.[12] Informasi tersebut mencakup seluruh rantai bahan (bahan mentah, pengolahan bahan, penggunaan, masa pakai, pemeliharaan, kemungkinan mendaur ulang dan kebutuhan TPA, serta pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan tersebut), bahan (bahan mentah yang digunakan), dan energi yang dibutuhkan dalam rantai bahan.[13]

11 membandingkan juga: Schaltegger, S. (ed.) *Life Cycle Assessment (LCA) – Quo vadis?* Basel 1996.

12 Penentuan dan pengumpulan data tersebut tentu saja sangat sulit disusun dan dibandingkan, karena mencakup data tentang kualitas kehidupan. Lihat juga: Ménard, Martin/Frischknecht, Rolf/Zimmermann, Peter. *Background Inventory Data.* Dalam: Schaltegger, S. (ed.) *op.cit.* hlm. 39-49.

13 lihat juga keterangan tentang rantai bahan pada hlm. 113-114.

Ekolabel Indonesia[14] untuk suatu bahan bangunan tertentu mengandung informasi sebagai berikut:

hijau dampak terhadap lingkungan alam agak kecil
kuning dampak terhadap lingkungan alam sedang
merah dampak terhadap lingkungan alam besar

Ekolabel Indonesia

Kesadaran masyarakat terhadap ekologi dan lingkungan perlu ditingkatkan karena pengetahuan tersebut merupakan landasan yang sangat penting. Namun, wawasan dan pengetahuan ini belum mempunyai dampak nyata apa pun. Yang mempengaruhi lingkungan di sekitar kita adalah kegiatan ekonomi dan teknologi kita. Untuk mempertahankan keseimbangan alam dan untuk mengurangi dampak negatif kegiatan ekonomi, maka penerapan pengetahuan ekologi perlu dikembangkan. Pengembangan ekolabel adalah salah satu jalan yang berkaitan dengan pokok-pokok tersebut.

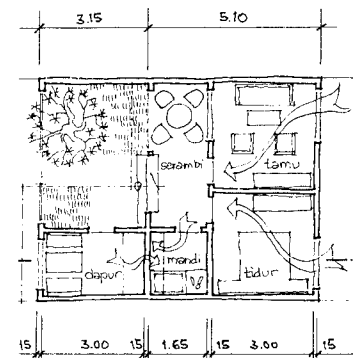
Ekolabel Indonesia harus berdasarkan atas penilaian yang ketat dan tepat oleh badan Lembaga Ekolabel yang dapat dipercayai. Disamping itu mereka harus menyediakan sumber data (*data-bank*) di mana segala informasi (*product declarations of all substances*) dapat disimpan dan dikembangkan untuk masa depan.

14 Ekolabel menurut usulan Universitas Katolik Soegijapranata kepada Lembaga Ekolabel Indonesia, tgl. 7 Agustus 1995.

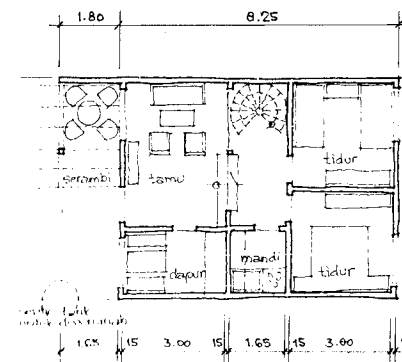
5.4 Membangun kembali dan mengganti kerugian

Jika orang membicarakan hal kerusakan lingkungan hidup maka pada umumnya hanya dibicarakan persoalan air, udara dan sampah. Jarang sekali diartikan masalah kerusakan tanah oleh pembangunan. Apakah manusia buta terhadap dimensi kerusakan tersebut?[15]

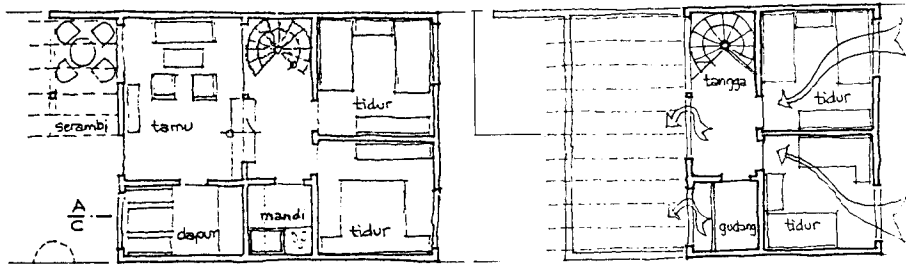
Membangun kembali berarti antara lain membongkar dengan seksama. Akan tetapi kalau diamati pembongkaran ± 30% dari rumah sederhana (RS) dalam jangka waktu 10 tahun pertama saja, hal ini berarti kerugian ekonomi negara yang luar biasa. Rumah-rumah harus dibangun sedemikian rupa sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan dan jika perlu, dapat diubah supaya selalu dapat diperoleh kenyamanan yang diinginkan.

Struktur rumah harus begitu fleksibel sehingga denah dapat diperluas maupun ditingkatkan (paling sedikit menambah satu tingkat). Sebagai pertentangan dapat juga dituntut agar rumah susun harus bisa dikurangi tingginya jika merasa perlu.

Rumah sederhana: rumah inti dengan struktur yang fleksibel

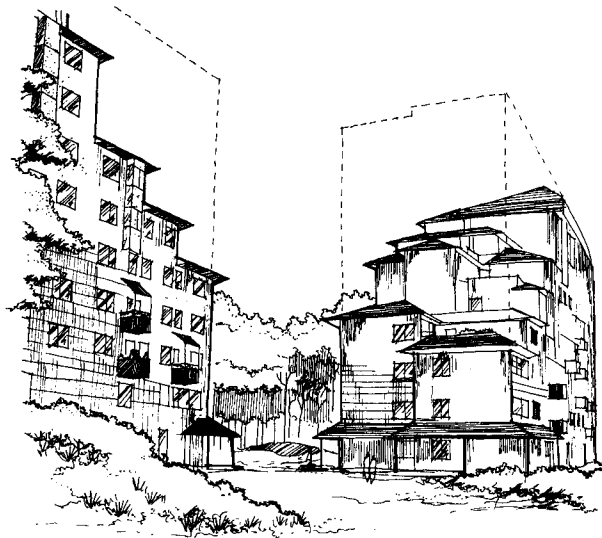
Denah lantai 1

Disusun pada satu lantai saja seluas 32 m^2

Denah lantai 1

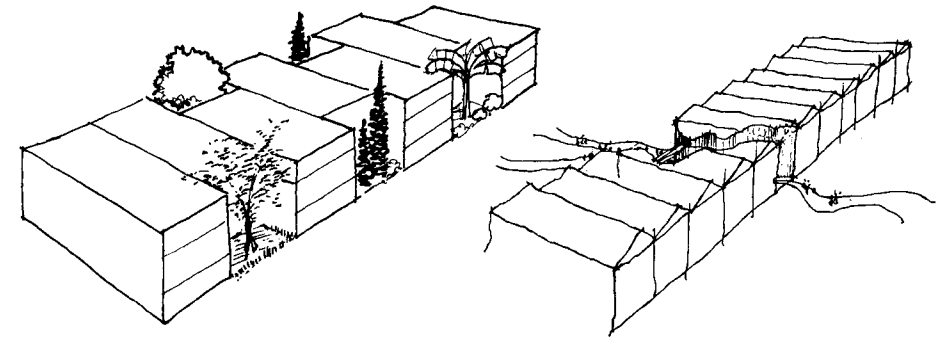
Diperluas menjadi 53 m^2

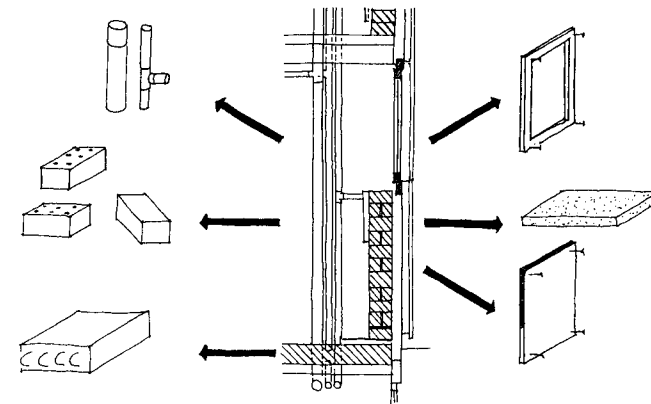
15 Bdk. Keller, Rolf. *Bauen als Umweltzerstörung*. edisi ke-5. Zürich 1977. hlm. 4-5.

Denah lantai 1

Denah lantai 2

Rumah sederhana tersebut dapat juga diperluas dengan tambahan tingkat sehingga akhirnya rumah inti yang berstruktur fleksibel menjadi 86 m^2

Membangun kembali tiga rumah susun (9 tingkat, 400 m panjang, dengan 290 apartemen) di Solstaden (Swedia). Ujung-ujung gedung dibongkar sedemikian rupa sehingga terdapat apartemen mewah dengan atap perisai[16]

Sebagai sifat terakhir, membangun kembali juga berarti menggunakan kembali gedung yang sudah ada tetapi tidak dimanfaatkan lagi, seperti fungsi semula misalnya pabrik, gedung sekolah, dan gedung lainnya yang sudah kosong. Dari pada membongkar gedung tersebut, strukturnya dimanfaatkan untuk membangun kembali gedung tersebut, misalnya sebagai rumah perkantoran, rumah deret, atau apartemen.

16 menurut: Schilling, Rudolf. *op.cit.* hlm. 74.

Gedung pabrik lama yang diberi skala manusiawi dengan pemecahan masalah terhadap panjang bangunan dengan ceruk atau cela berbentuk ngarai[17]

Membangun kembali berarti terutama memperbaiki kesalahan yang telah dibangun sebagai ganti rugi pada lingkungan alam. Hal ini juga harus memperhatikan konsep struktur[18] dan bahan pada waktu perencanaan sehingga di kemudian hari dimungkinkan untuk 'dibangun kembali'.

Konsep struktur dan bahan memperhatikan fungsi dan susunan ruang, struktur gedung, utilitas, serta bahan bangunan sehingga gedung dapat dibangun kembali atau diubah setiap saat.

Secara tradisional semua hasil produksi manusia adalah fungsional (keindahan dan ketepatgunaan tidak terpisah). Sedangkan pada masa kini manusia berhasil memproduksi banyak (mementingkan kuantitas, bukan kualitas) dan ketepatgunaan (harus praktis) atau keindahan (sebagai bahan mewah) dianggap berbeda.

17 menurut: Kiss, Miklos/Zoelly, Pierre. *Achtung Baustelle!* Basel 1995. hlm. 55, 101.

18 Konsep struktur telah dibicarakan pada bab. 3.2 Kesinambungan (*sustainability*) pada struktur. hlm. 94-97.

6. Radiasi teristis, kosmis, dan teknis

Segala kejadian alam yang biologis berkaitan dengan listrik. Terjadinya dan pemeliharaan kehidupan tanaman, hewan, maupun manusia tercetak oleh radiasi teristis dan kosmis. Segala makhluk hidup menyesuaikan diri dalam suatu evolusi pada medan listrik maupun medan magnetis yang ada. Hal ini membuktikan keseimbangan dan keselarasan dengan lingkungan alam.

Bumi terkelilingi oleh pengaruh gaya yang terbentuk dan teratur secara geometris. Gaya misterius tersebut menjelma menjadi ruang hidup berkisi-kisi yang dapat dirasakan. Jaringan garis-garis yang berkisi-kisi ini sangat teratur secara tata jenjang yang berarti garis-garis tersebut berbeda dalam mutu, radiasi, kelompokan, atau garis tengahnya.[1]

Pada kebudayaan kuno di Cina, India, Mesir, maupun Yunnani, jaringan gaya berkisi-kisi sudah diketahui. Di Cina, sejak masa kuno itu, gaya tersebut digabungkan dengan daya hidup. Mereka menganggap bahwa jaringan garis-garis berkisi pada bumi sepadan dengan meridian Yin-Yang pada tubuh manusia.[2] Namun demikian, diadakan persejajaran antara jaringan gaya berkisi-kisi pada bumi dan sistem yang menyemangati manusia yang dapat berpengaruh pada titik-titik akupunktur. Gaya-gaya tersebut berhubungan erat dengan proses kehidupan dunia dan rupanya memiliki matra yang lebih tinggi (matra keempat?[3]) yang bertetangga dengan alam fisis, yang manusia menjadi anggotanya. Dapat dianggap bahwa gaya-gaya tersebut menghubungkan diri dengan energi fisis, berbentuk elektromagnetik. Karena itu keadaan jaringan gaya atau radiasi berkisi-kisi dapat dibuktikan.[4]

Yang mengagumkan dalam hal ini adalah kenyataan bahwa jaringan gaya berkisi-kisi tersebut tidak hanya memiliki energi aneh melainkan juga memiliki struktur geometris yang berdenyut energi. Jaringan ber-

1 lihat: Palm, Hubert. *Das gesunde Haus.* edisi ke-7. Konstanz 1979. hlm. 222-227.

2 pada tradisi Cina daya hidup yang halimunan (daya pencipta) dinamakan ch'i. Ch'i mengalir secara alami dan mengakibatkan semua benda jadi makhluk, akan hidup seperti badan manusia oleh aliran darah.

3 Matra ini dapat dianggap sebagai matra metafisis, berbeda dengan catatan kaki 11 hlm. 45.

4 lihat: Jauch, Kurt. *Kosmisches Mass und Heiligtum.* Schaffhausen 1996. hlm. 10-12.

radiasi itu juga bersifat menonjol pada pembangunan gedung keramat (candi, kuil, dan sebagainya) serta penyediaan ruang hidup duniawi yang melambangkan keselarasan antara radiasi kosmis dan teristis.

Yang menarik perhatian dalam hal ini adalah penelitian oleh dokter-dokter yang mencari hubungan antara penyakit manusia tertentu dengan tempat huniannya yang membuktikan bahwa jaringan radiasi tersebut bisa mempengaruhi hal itu secara negatif.

Namun, pada setiap tempat keramat terdapat jaringan radiasi yang padat dan justru keberadaan pusat radiasi tersebut mempengaruhi suasana sebagai tempat meditasi secara positif.

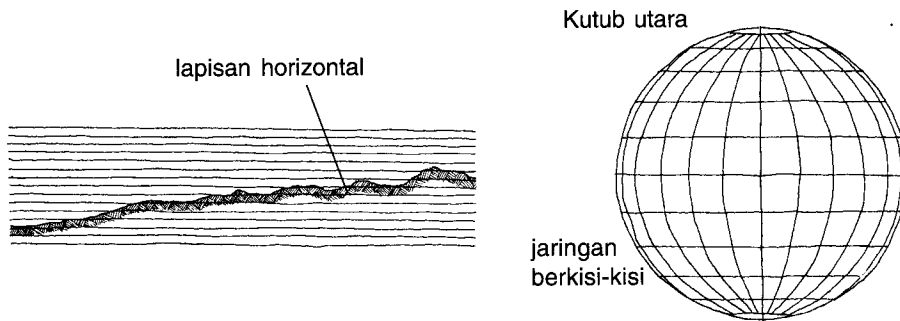
Keselarasan tersebut pada masa kini sangat terganggu. Terjadinya radiasi teknis mempengaruhi dampak radiasi atas perkembangan dan pemeliharaan kehidupan manusia serta makhluk yang lain. Pengaruhnya telah mencapai seluruh dunia dan tidak ada tempat lagi yang bebas dari dampak tersebut.[5]

Walaupun terjadi banyak penelitian untuk membuktikan jaringan gaya berkisi-kisi secara ilmiah dengan bantuan alat ukur yang sangat peka dan teliti; namun hasilnya masih terbatas atas jaringan radiasi yang elektro-magnetik. Dengan bantuan tangkai bercabang dan bandul seorang ahli bisa mencari dan menentukan jaringan gaya berkisi-kisi tersebut.

Dapat dibayangkan bahwa bumi terkelilingi oleh jaringan gaya berkisi-kisi yang terdiri atas jaringan garis bujur dan garis lintang. Struktur berkisi-kisi ini tidak hanya bergaya berarah tegak lurus pada permukaan bumi, melainkan juga berarah horizontal sebagai semacam langit-langit yang berbentuk bola. Tebalnya lapisan bergaya ini rata-rata 35-40 cm. Penentuan tingginya di atas permukaan bumi berbeda-beda menurut sumbernya.[6] Jaringan struktur bergaya yang vertikal dan yang horizon-

5 menurut: Schneider, Anton. *Fernlehrgang Baubiologie.* Lehrbrief Nr. 17 (bab 9). Neubeuren 1987. hlm. 1.

6 menurut: Palm, Hubert. *op.cit.* hlm. 226, lapisan bergaya yang pertama terletak sekitar 5 m di atas permukaan bumi yang datar, sedangkan lapisan berikutnya terdapat pada ketinggian 35-40 m di atas permukaan bumi yang datar (jarak di antaranya dapat dibagi 7 untuk menentukan lapisan-lapisan sekunder);
menurut Jauch, Kurt. *op.cit.* hlm. 26, lapisan utama terletek tepat pada 760 mdpl dan lapisan bergaya lainnya terletak setiap 3.144 m ke atas maupun ke bawah lapisan utama tersebut.

tal bersama-sama menentukan satu jaringan berkotak-kotak, walaupun pada lapisan bergaya yang horizontal belum diketahui apakah pengaruh radiasinya adalah teristis atau kosmis.

Jaringan struktur bergaya yang horizontal dan yang vertikal

6.1 Pengaruh radiasi atas kesehatan manusia

Seperti telah diuraikan, medan radiasi pada permukaan bumi menjadi salah satu dasar kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan (makhluk hidup). Radiasi yang bersinar secara terus-menerus atau berubah-ubah sesuai dengan cuaca, iklim, dan waktu, umumnya radiasi tersebut memajukan dan mendukung kehidupan. Sedangkan perubahan radiasi yang tetap akan mengganggu kesehatan makhluk hidup di dunia ini. Tempat-tempat yang terganggu kita namakan tempat geo-patologis. Menurut terjadinya, tempat geo-patologis tersebut dapat digolongkan atas tempat geo-patologis yang alami dan tempat patologis yang terjadi oleh kegiatan manusia.

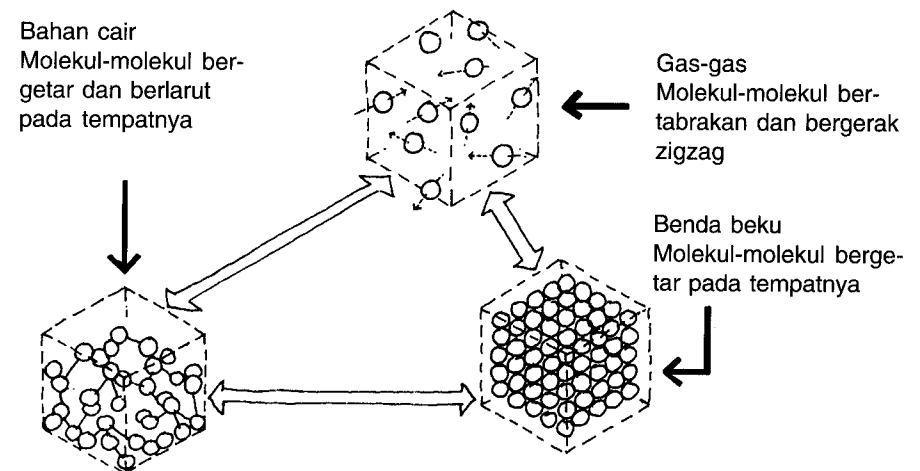
Tempat dengan radiasi pada permukaan bumi yang bisa mempengaruhi kesehatan manusia dapat digolongkan sebagai berikut.[7]

Radiasi teristis
- aliran air di bawah tanah (*waterlines, aquatats, tracklines*)
- patahan dan dislokasi geologis;
- lapisan, endapan dalam permukaan bumi yang mengandung biji logam, batu bara, minyak bumi, dan sebagainya; serta
- jaringan magnetis bumi, misalnya jaringan Hartmann atau jaringan Curry (*leylines*).

Radiasi kosmis
- radiasi matahari/surya (sinar cahaya ultraungu, inframerah, dan sebagainya); dan
- radiasi bulan serta radiasi planetaris.

Radiasi teknis
- instalasi listrik (saluran tegangan tinggi, transformator, instalasi listrik di dalam rumah);
- peralatan listrik di dalam rumah tinggal, termasuk radio dan TV;
- peralatan elektronis di dalam rumah tinggal dan kantor; serta
- bahan sintetis yang berlistrik statis *(electrostatical charge),* seperti misalnya bahan lantai sintetis.

7 Lihat juga tabel pada hlm. 46.

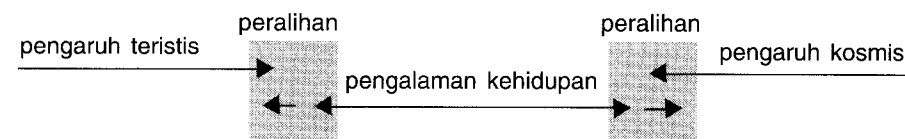
Semua benda dan makhluk serta air, udara atau cahaya, warna, dan sebagainya adalah hasil getaran atau ayunan tertentu oleh molekul masing-masing bahan. Hal ini berarti bahwa 'pengalaman dan pengetahuan' molekul masing-masing memberi bentuk pada benda dan makhluk atau air, udara, dan sebagainya seperti dibuktikan pada domba klon 'Dolly' di Skotlandia (setiap sel-sel 'mengetahui' bahwa dia adalah sebagian dari makhluk tertentu).

Getaran molekul-molekul menentukan wujudnya bahan (materi)

Susunan radiasi elektromagnetik

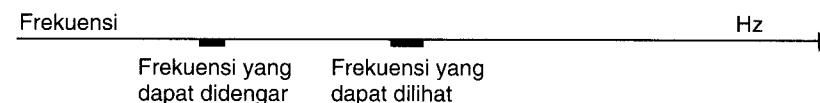
Frekuensi hertz (Hz)	panjang gelombang	jenis radiasi	penggunaan teknis	pengaruh biologis
16-50	18'750-6'000 km	frekuensi rendah	listrik AC	
300'000	1'000 m	frekuensi tinggi	gelombang radio LW	induksi listrik
$3x10^6$	100 m		gelombang radio MW	induksi listrik
$3x10^7$	10 m		gelombang radio SW	bagian subresonansi
$3x10^8$	1 m		gelombang TV, radio USW	bagian resonansi
10^9	30 cm		kompor mikro-wave, telepon seluler	bagian *hot-spot*
10^{10}	3 cm	mikrowave	radar	penyerapan pada bagian permukaan
$3\text{-}30x10^{12}$	1/10-1/100 mm	frekuensi cahaya	radiasi ultraungu	inframerah
$3\text{-}30x10^{13}$	1/100-1/1'000			radiasi panas
$4.3x10^{14}$	7/10'000 mm		radiasi warna	warna merah
$5x10^{14}$	6/10'000 mm			warna oranye
$5.5x10^{14}$	5.5/10'000			warna kuning
$6x10^{14}$	5/10'000 mm			warna hijau
$6.7x10^{14}$	4.5/10'000			warna biru
$7.5x10^{14}$	4/10'000 mm			warna ungu
$8\text{-}150x10^{14}$		frekuensi cahaya kimia	radiasi ultraungu	penyinaran ultraungu
$3\text{-}3'000x10^{16}$		radiasi Röntgen	radiasi Röntgen	radio-terapi
$3\text{-}300x10^{19}$		radiasi radio-aktif	radiasi α, β, γ	mutagen dan kasinogenik
$3\text{-}300x10^{22}$		radiasi kosmis	radiasi ultra	

Di samping radiasi (getaran) elektromagnetik, terdapat juga getaran yang dapat didengar sebagai bunyi, bisingan, dan sebagainya (pada frekuensi 16-20'000 Hz).

Jika segala sesuatu bergetar dan oleh getaran itu sesuatu tersebut menjadi bentuk tertentu, maka getaran itu adalah salah satu unsur kehidupan. Pengetahuan ini memungkinkan pengertian yang baru.

Berdasar pengalaman ini dapat dimengerti bahwa manusia dalam keselarasan badan, rohani, dan jasmani adalah semacam antena yang menerima pengaruh luar baik yang teristis maupun kosmis.

Bagian pengalaman kehidupan (getaran kehidupan) yang saling melingkupi (interferensi) dalam pengertian kehidupan yang holistis menerangkan hubungan inersia.

Frekuensi — Hz

Frekuensi yang dapat didengar — Frekuensi yang dapat dilihat

Seperti telah dikatakan, radiasi teristis dapat dianggap sebagai sistem informasi dari bumi kepada semua makhluk dan benda. Menurut hipotesis Gaia,[8] radiasi bumi berfungsi sebagai sistem urat saraf makhluk bumi tersebut. Kalau dibandingkan penemuan James Lovelock tentang bumi sebagai makhluk Gaia dengan penelitian dr. Fitzgerald mengenai 'terapi zona',[9] tekanan dengan jari dan pijat pada titik-titik tertentu pada badan manusia mengakibatkan hasil fisiologis pada alat tubuh (organ) yang terletak di dalam tubuh manusia. Zona yang primer menurut Fitzgerald adalah telapak kaki. Telapak kaki mencerminkan semua alat tubuh manusia seperti telah dibicarakan sebelumnya.[10]

Hal ini membuktikan bahwa kejadian pengalaman kehidupan dalam perkembangan manusia berhubungan erat dengan telapak kakinya. Telapak kaki manusia sebagai *'homo erectus'* adalah alat komunikasi

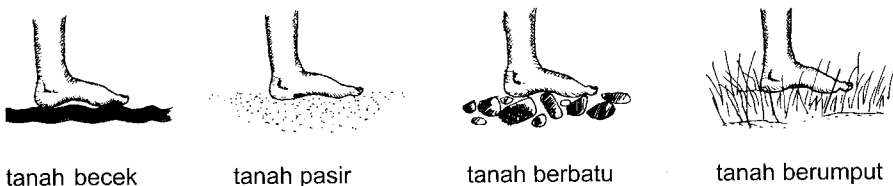
8 Lihat bab 1.3: Dasar-dasar eko-arsitektur, halaman 26-27; Lovelock, James. *The Ages of Gaia, a Biography of our Living Earth.* New York 1988; serta: Lovelock, James: *Gaia – the Practical Science of Planetary Medicine.* London 1991.

9 dr. H. Fitzgerald (1872-1942) menemukan terapi zona sebagai pijat kaki yang akan menyembuhkan bagian badan tertentu, pada tahun 1913 di Washington AS.

10 Lihat bab 2.2: Cipta rasa dan karsa. hlm. 41.

Telapak kaki manusia sebagai *'homo erectus'* adalah alat komunikasi dengan ibu bumi. Di semua agama kuno bumi adalah makhluk hidup (naga, gunung, dan sebagainya) yang bersifat wanita.

Oleh karena itu, manusia tidak hanya mengalami iklim, suhu, geologi, atau tekstur permukaan bumi, melainkan manusia selalu berkomunikasi dengan ibu buminya.

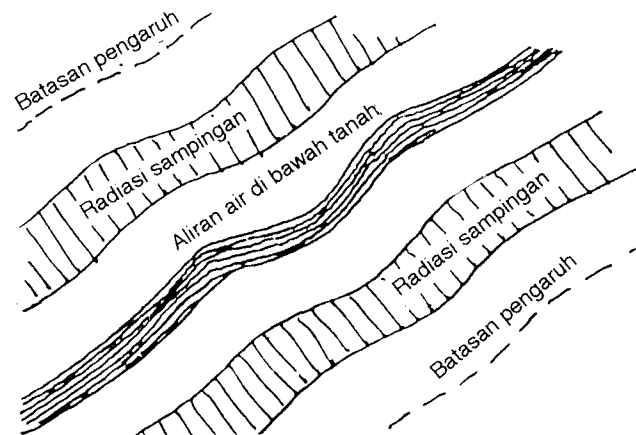
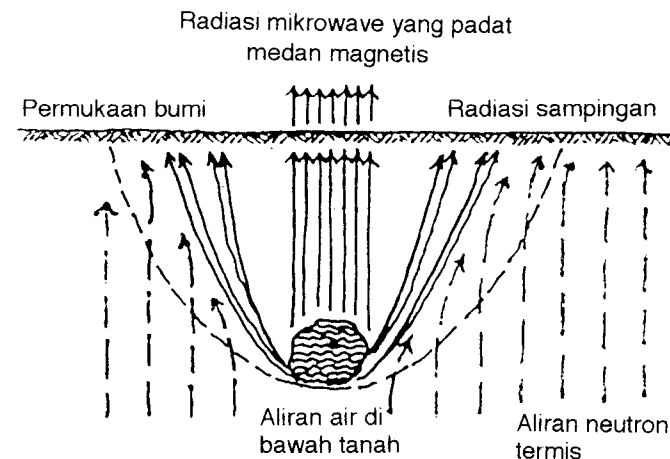
tanah becek tanah pasir tanah berbatu tanah berumput

Selain komunikasi antara manusia dan ibu bumi, radiasi lingkungan, irama aktivitas matahari atau cuaca, mempengaruhi kehidupan secara positif karena terjadi secara terus-menerus. Jika pengintensifan radiasi berubah menjadi stabil, maka pengaruhnya atas kehidupan bisa negatif, berarti akan menimbulkan segala penyakit.

6.2 Radiasi teristis

Aliran air di bawah tanah

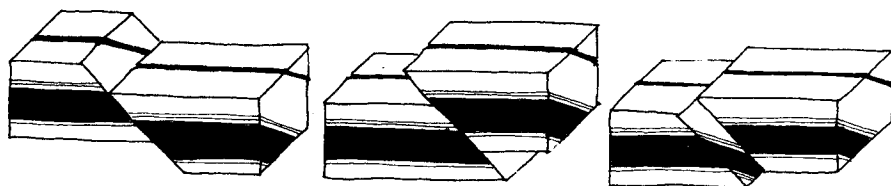
Aliran air di bawah tanah membangkitkan medan elektromagnetis oleh muatan listrik yang berbeda pada molekul air dan molekul tanah. Walaupun radiasi di atas aliran air biasanya agak sempit (10-20 cm), pengaruhnya bisa melebar (sampai 100 cm atau lebih) jika aliran air tersebut terletak sangat dalam. Di samping medan elektromagnetis timbul juga medan listrik sebesar 20-50 v/m.[11]

Aliran air di bawah tanah mengubah daya pengantaraan listrik bumi dan udara yang dapat dipelajari pada tumbuh-tumbuhan di atasnya. Ada pepohonan yang suka tumbuh pada tempat tersebut (misalnya pohon kedondong), tetapi kebanyakan tumbuhan tidak senang dengan tempat itu dan mengalami berbagai penyakit seperti kanker, borok, tumbuhan miring (ingin lari dari pengaruh negatif), tidak berbunga dan berbuah.

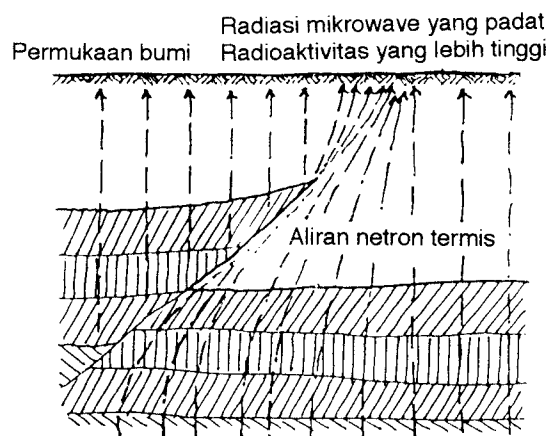
11 Lihat: Gartner, Karl/Winklbaur, Günther. *Gesünder Wohnen*. Wien 1984. hlm. 66-68

Potongan aliran air di bawah tanah[12]
Denah aliran air dan radiasi sampingan

Patahan dan dislokasi geologis

Dislokasi dalam kerak bumi ke arah horizontal maupun vertikal mengakibatkan (seperti aliran air di bawah tanah) suatu perubahan radiasi teristis. Biasanya pada patahan atau dislokasi geologis dapat diukur bahwa radioaktivitasnya (radiasi γ) lebih tinggi. Hal ini bisa mengakibatkan kanker jika misalnya manusia terus-menerus tidur pada tempat

12 gambar aliran air di bawah tanah menurut: Gartner, Karl/Winklbaur, Günther. *op.cit.* hlm. 67.

Pergeseran bumi (sesar) turun yang sebenarnya | Pergeseran bumi (sesar) naik yang sebenarnya | Pergeseran bumi (sesar) mendatar pada arah jurus

Berhubungan dengan adanya air yang mengalir pada patahan, retakan, atau dislokasi geologis atau tidak, kita bedakan antara

- patahan dan dislokasi geologis kering; dan
- patahan dan dislokasi geologis basah.

Potongan pada patahan dan dislokasi geologis[13]

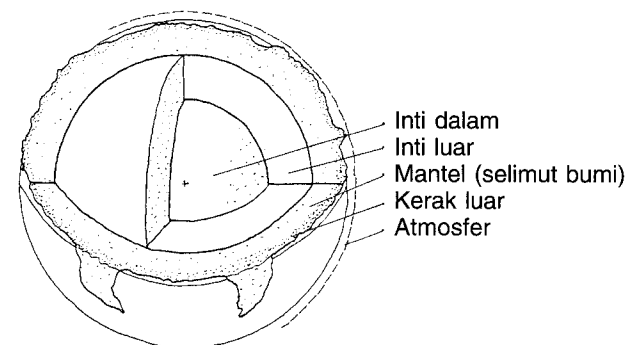
Pembentukan bumi, lapisan yang mengandung bijih logam, dsb.

Diperkirakan inti dalam dari bumi berdiameter 2'400 km dan terdiri dari besi. Inti dalam ini diselimuti oleh inti luar (lapisan leburnya campuran nikel-besi) setebal kira-kira 2'300 km. Inti luar ini bergerak dengan kecepatan ± 90 m/hari dan mengakibatkan medan magnet yang begitu kuat sehingga mengelilingi bumi sebagai magnetosfer.

Inti luar kemudian dikelilingi oleh mantel, selimut bumi setebal kurang lebih 2'900 km yang terdiri dari batu-batuan berat yang mengandung ikatan besi dan magnesium dengan lapisan kerak luar setebal ± 11 km yang terdiri dari batu-batuan agak ringan serta mengandung ikatan

13 Gambar menurut, Gartner, Karl/Winklbaur, Günther. *op. cit.* hlm. 69.

silisium dan aluminium. Sebagian lapisan kerak luar ini berupa tanah dan sebagian besar berada di bawah air laut.

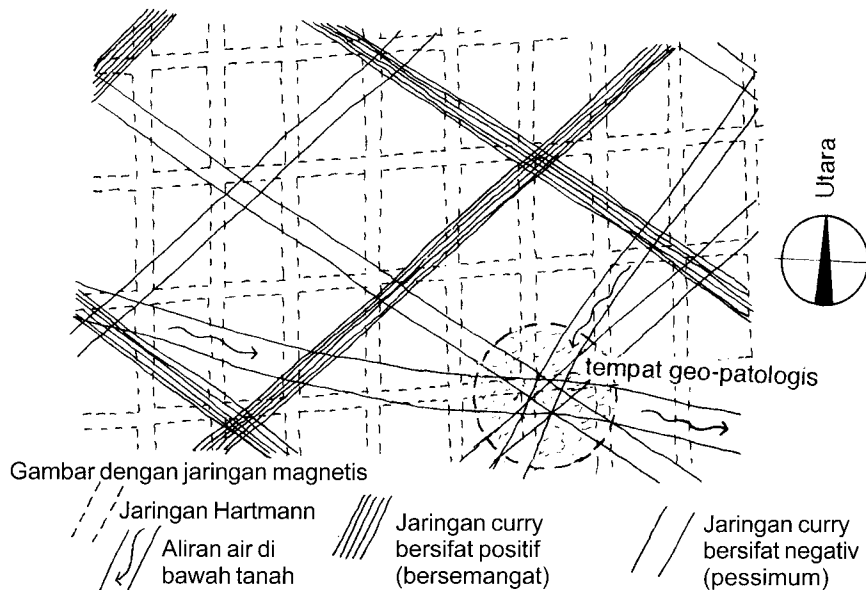
Bumi ini dikelilingi oleh atmosfer setebal kurang-lebih 50 km, dan oleh magnetosfer yang dipadatkan oleh angin surya di ruang angkasa dan yang berbentuk ekor komet pada bagian yang membelakangi matahari. Atmosfer dan magnetosfer ini melindungi kita dari radiasi kosmis.

Pembentukan bumi

Perubahan kecepatan dalam inti luar tersebut mengakibatkan pergeseran kutub magnetis bumi yang sejak tahun 1819 telah bergerak 20° berlawanan arah jarum jam. Menurut penelitian dalam geologi dan geomorfologi, bumi telah mengalami 126 kali penukaran kutub magnetis dalam jangka waktu 40 juta tahun. Penukaran kutub terakhir terjadi sekitar 780'000 tahun yang lalu. Peristiwa tersebut bisa terjadi dalam jangka waktu beberapa minggu sampai dengan beberapa ribu tahun dan bumi mengalami penukaran kutub magnetis setiap 10'000-30'000'000 tahun. Kalau intensitas magnet bumi tetap berkurang seperti sejak 150 tahun yang lalu, maka pada sekitar 1'500 tahun yang akan datang diadakan penukaran kutub lagi.[14]

Kerak bumi yang mengandung endapan/lapisan bijih logam dan sebagainya agak jarang ditemukan pada lapisan bumi luar dan biasanya tempat tersebut dibutuhkan oleh industri untuk eksploitasi. Oleh karena itu, tidak perlu diperdalam pada buku ini, cuma perlu diketahui bahwa umumnya lapisan bumi yang mengandung bijih logam dan sebagainya adalah tempat yang kurang baik untuk tempat tinggal manusia.

14 menurut: Fischer, Gaston. *Wo Ist Norden?* Dalam: *Wettwoche* no. 10. Zürich 1997.

Jaringan magnetis, jaringan Hartmann atau jaringan Curry

Seperti telah dikatakan, jaringan gaya berkisi-kisi pada seluruh permukaan bumi adalah jaringan magnetis yang diselidiki oleh dokter-dokter yang mencari hubungan antara penyakit manusia tertentu dan tempat huniannya. Dua yang terkenal adalah dr. Hartmann[15] dan dr. Curry[16]. Jaringan Hartmann berorientasi utara-selatan dan timur-barat dengan garis yang memiliki pengaruh selebar 15 – 25 cm dengan jarak antar-jaringan 2.0 – 3.0 m, sedangkan jaringan Curry berorientasi miring terhadap jaringan Hartmann dengan garis yang memiliki pengaruh selebar 50 cm dengan jarak antarjaringan 3.5 – 7.0 m. Semua garis jaringan Hartmann maupun Curry mengakibatkan medan elektromagnetis yang lebih tinggi daripada elektro-magnetisme pada tanah sebelah. Ukuran jaringan tersebut bisa berbeda menurut pengaruh dampak lingkungan, dislokasi geologis atau letaknya pada garis lintang bumi, dan sebagainya.

Peta dengan jaringan Hartman, jaringan Curry, aliran air di bawah tanah, serta penentuan tempat yang geo-patologis menurut Gartner, Karl/Winklbaur, Günther. *op. cit.* hlm. 70.

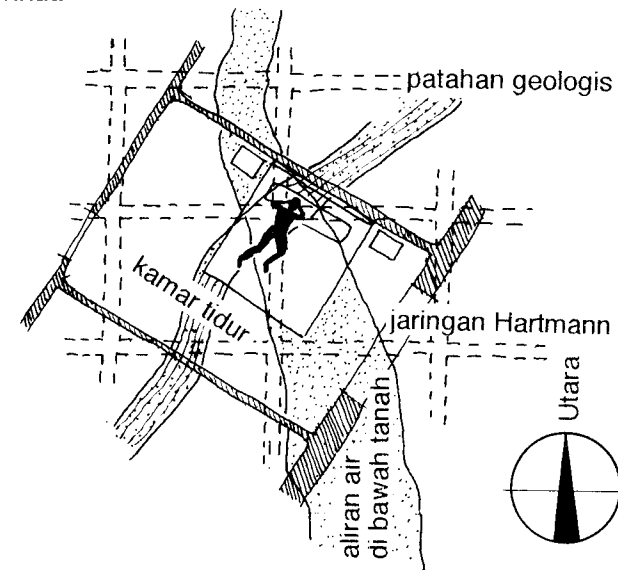
---

15 dr. Ernst Hartmann menemukan jaringan magnetis pada tahun 1951. Lihat: Hartmann, Ernst. *Krankheit als Standortproblem.* Ulm: 1976.

16 dr. Manfred Curry menemukan jaringan magnetis ini pada penyelidikan jaringan Hartmann sekitar 1955. Lihat: Curry, Manfred. *Der Schlüssel zum Leben.* Zürich 1969.

Karena di bumi ini tidak ada tempat yang tampak radiasinya, maka manusia memilih tempat-tempat kediaman yang memiliki kombinasi radiasi yang menguntungkan.

Mengenai terjadinya jaringan tersebut, hanya ada spekulasi dari medan magnet kerak bumi melalui (melewati) gelombang gempa bumi yang tidak bergerak sampai radiasi mikrokosmis dari matahari dan bulan. Pengaruh atas kesehatan manusia juga berbeda-beda karena medan elektromagnetis saling berputar ke kiri atau ke kanan.

Perhatian terhadap pengaruh radiasi teristis akan sangat meningkatkan kualitas kehidupan di dalam rumah kediaman karena masalah gangguan kesehatan manusia, seperti yang dapat terjadi pada keadaan dalam gambar berikut:

Denah kamar tidur dengan persimpangan aliran air di bawah tanah dan persimpangan jaringan Hartmann yang mempengaruhi kesehatan orang yang sedang tidur.

6.3 Radiasi kosmis

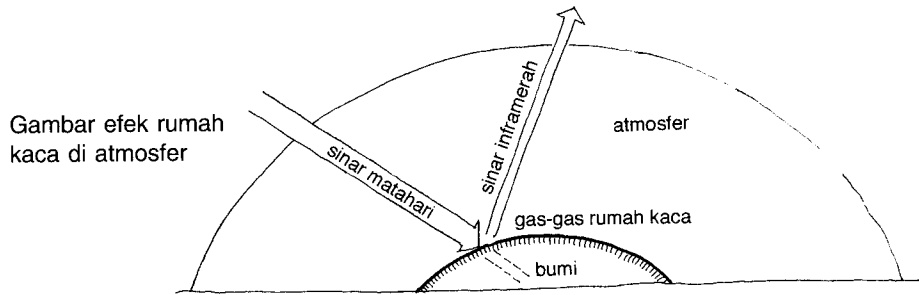
Perawat bayi dapat mengetahui perubahan cuaca yang akan datang dengan hanya memperhatikan pada bayinya. Bayi masih sangat peka terhadap perubahan radiasi kosmis (antara lain pengaruh cuaca) dan sering tidak mau makan atau tidak mau tidur. Iklim dipengaruhi oleh radiasi kosmis dan aktivitas pada matahari (bintik pada matahari atau angin pada matahari).

Menurut penyelidikan Tschijewskij[17] misalnya, pengaruh aktivitas bintik pada matahari mencerminkan banyaknya korban manusia yang kena penyakit cacar. Aktivitas bintik pada matahari sangat meningkat pada tahun 1871, 1882, 1895, dan 1905 dan pada tahun tersebut Rusia mengalami juga penyakit cacar menular (1871 = 170 korban; 1882 = 225 korban; 1895 = 95 korban; 1905 = 25 korban), sedangkan kecuali tahun tersebut di atas Rusia pada umumnya mengalami kurang dari 15 korban per tahun.

Efek rumah kaca (*greenhouse effect*)

Istilah efek rumah kaca berasal dari pengalaman para petani di daerah beriklim sedang yang menanam sayur-sayuran di dalam rumah kaca. Pengalaman mereka menunjukkan bahwa pada siang hari suhu di dalam rumah kaca lebih tinggi daripada suhu di luarnya.

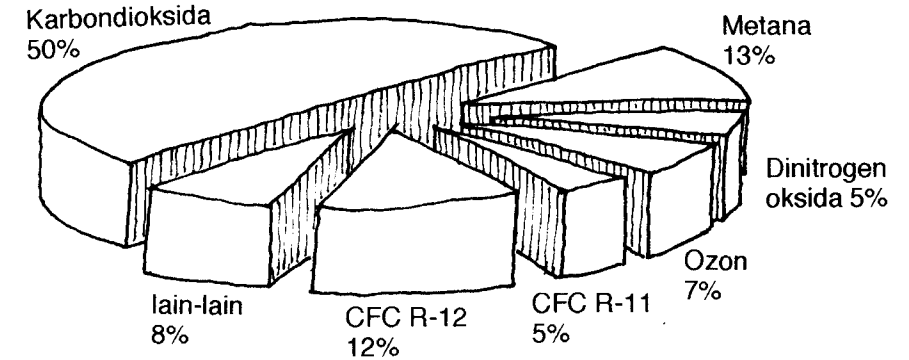
Yang terjadi adalah sinar matahari yang menembus kaca dipantulkan kembali oleh tanaman di dalam rumah kaca sebagai sinar inframerah yang berupa panas. Sinar yang dipantulkan tidak dapat keluar rumah kaca sehingga suhu udara di dalamnya naik.

Gambar efek rumah kaca di atmosfer

Gas, seperti uap air, karbondioksida (merupakan gas rumah kaca yang paling banyak dan efektif), metana, klorofluorokarbon, ozon troposfir, dinitrogen oksida, dan lainnya menimbulkan efek rumah kaca (menahan panas dekat permukaan bumi) karena konsentrasi gas ini meningkat dalam atmosfer. Akibat pertambahan gas-gas tersebut diperkirakan akan menangkap lebih banyak energi dari permukaan bumi

17 Tschijewskij, A.L. *Die Sonne und wir.* Moskau 1970. Dikutip dari: Mayer, Hans/Winklbaur, Günther. *Biostrahlen.* edisi ke-3. Wien 1985. hlm. 68.

pada lapisan atmosfer yang lebih rendah sehingga akan menimbulkan kenaikan suhu dan perubahan-perubahan lain dalam pola pembekuan, serta perubahan lain dalam iklim global yang tidak dapat diramalkan.

Pengaruh gas masing-masing atas efek rumah kaca[18]

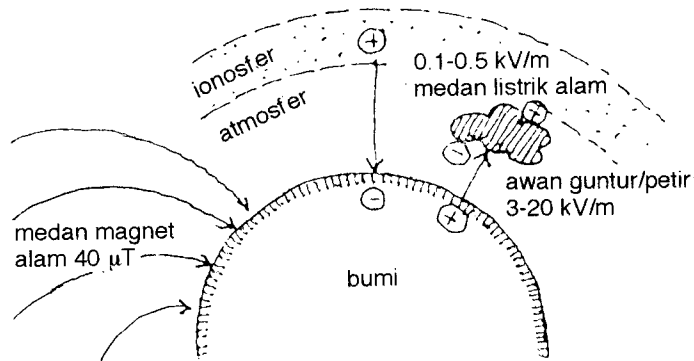
Gas rumah kaca	waktu tinggal di atmosfer	Kemampuan penyerapan panas[19]
Karbondioksida	50-200 tahun	1
Metana	10 tahun	21
Ozon troposfir	0.1 tahun	2'000
Dinitrogen oksida	150 tahun	206
Klorofluorokarbon CFC R-11	65 tahun	12'400
Klorofluorokarbon CFC R-12	130 tahun	15'800

Sumbangan gas-gas rumah kaca terhadap terjadinya efek rumah kaca

Di samping pengaruh matahari, sudah dikenal dengan baik adanya pengaruh bulan, misalnya atas medan magnet bumi yang mengakibatkan pasang-surut pada laut dan mempengaruhi haid pada perempuan.

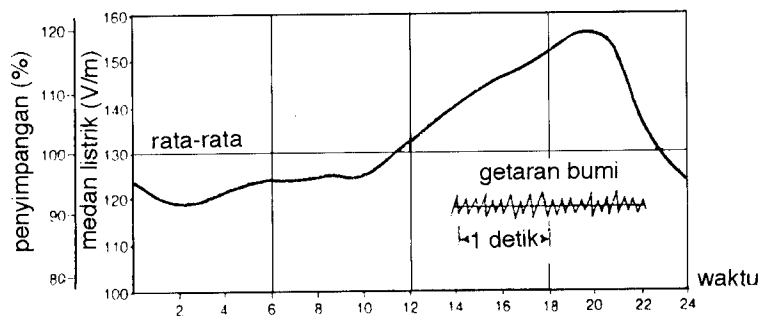
18 Messmer, Maja/Stutz, Erika. *Pemanasan global.* Buku pegangan guru untuk wallchart 003. Draft. Malang 1996. hlm. 17.

19 Kemampuan penyerapan panas (sinar inframerah) dikenal juga sebagai *greenhouse warming potential* (GWP), suatu nilai relatif di mana karbondioksida diberi nilai 1 sebagai standar.

Radiasi dan elektro-keikliman alam

Bumi dikelilingi oleh atmosfer yang di sebelah luar dinamakan ionosfer. Ionosfer tersebut mengandung sifat memantulkan medan listrik alam yang dapat digambar sebagai berikut:

Gambar elektro-keikliman alam

Gambar elektro-keikliman alam ini menunjukkan ketiga faktor yang mempengaruhinya, yaitu medan listrik arus searah (*DC = direct current*), medan listrik arus bolak-balik (*AC = alternating current*), dan ion-ion (kelompok atom yang berisi listrik).

Medan listrik arus searah dengan kekuatan ± 130 V/m dijadikan di antara permukaan bumi dan ionosfer. Kekuatan tersebut berubah-ubah sebesar ± 20% sebagai berikut.

Perubahan kekuatan medan listrik arus searah dalam peredaran harinya[20]

20 menurut: Trykowski, Michael. *Grundlagen für biologisches Bauen*. Karlsruhe 1984. hlm. 71.

Medan listrik alam tersebut dipadatkan arus kekuatan oleh pegunungan, punggung gunung, atau gedung sehingga dapat tercapai kekuatan sampai dengan 5'000 V/m pada tempat-tempat tertentu. Di dalam gedung yang dibangun dengan bahan bangunan apa pun, medan listrik arus searah alam tidak ada lagi.

Walaupun medan listrik arus searah alam hampir tidak mempengaruhi manusia yang sehat, ada penelitian baru yang membuktikan bahwa medan listrik tersebut berakibat positif pada manusia yang sakit mental atau labil.[21]

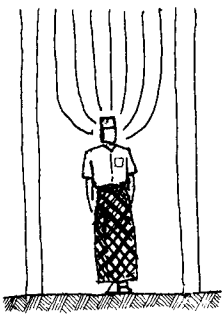
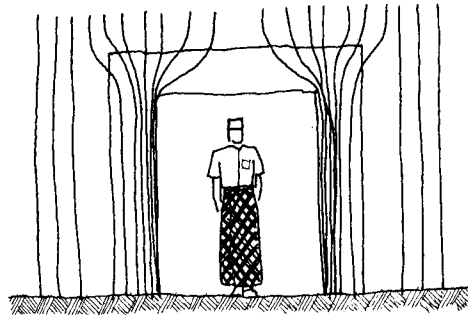
Medan listrik arus bolak-balik saling meliputi/interferensi medan listrik arus searah dengan frekuensi 8-10 Hz dan amplitudonya kecil. Medan listrik arus bolak-balik ini memberi reaksi yang merangsang bagi kulit otak besar (*cerebral cortex*) yang berfungsi juga dengan listrik arus bolak-balik dalam frekuensi 8-12 Hz. Di dalam gedung yang dibangun dengan bahan bangunan apa pun, medan listrik arus bolak-balik alam selalu ada. Hal ini berarti bahwa bahan bangunan rupanya tidak mempengaruhi medan listrik tersebut.

Ion-ion (kelompok atom yang berisi listrik) memungkinkan dan memelihara kekuatan medan karena udara dapat mengantarkan listrik. Ion-ion dibedakan atas ion yang diisi positif dan yang diisi negatif serta menurut ukurannya ion-ion kecil, sedang, dan besar. Secara biologis aktif adalah terutama ion-ion kecil yang sangat gesit. Pada lingkungan alam terdapat rata-rata 200-500 ion per cm^3, sedangkan di lingkungan kota kepadatan ion kecil berkurang. Kepadatan ion-ion kecil, terutama yang diisi negatif mempengaruhi penyembuhan luka, penyakit saluran napas, dan mensterilkan udara.

Ketiga faktor, medan listrik arus searah, medan listrik arus bolak-balik, dan ion-ion, bekerja sama dan mempengaruhi kenyamanan manusia. Bersama dengan suhu, kelembapan udara, dan tekanan udara, faktor-faktor tersebut juga dinamakan faktor iklim. Faktor ini semuanya mempengaruhi juga kepekaan manusia terhadap cuaca.

21 lihat penelitian Kröling/Fischer/König. Dalam: *2. Kolloquium Bioklimatische Wirkung lufteklektrischer und elektromagnetischer Felder.* Kl 12/76. halaman 427; dikutip oleh: Trykowski, Michael. *op.cit.* hlm. 70; serta: Bonifer, Renate. *Depressionen: Dank Magnetfeldern aus dem Stimmungstief.* Dalam: *Weltwoche* no. 17. Zürich 1997.

Medan magnetis alam yang berhubungan dengan magnet bumi adalah statis (tetap).

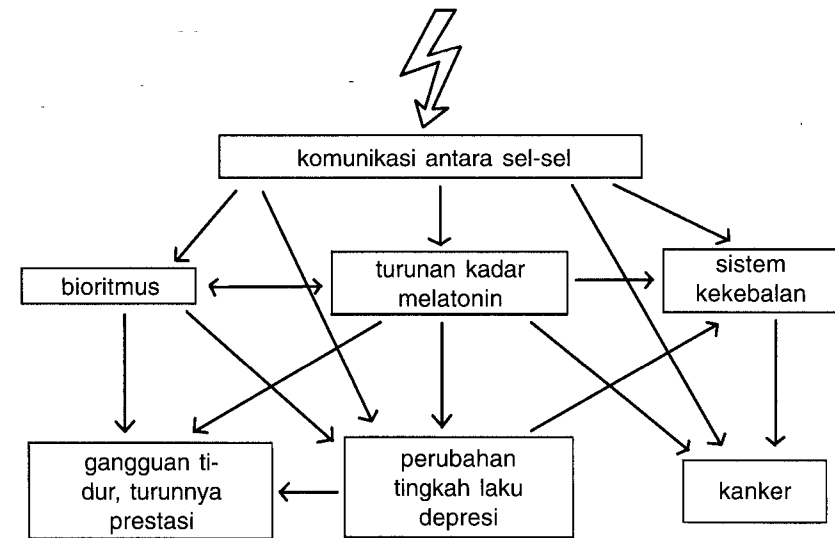
Baik medan listrik maupun medan magnetis akan berubah bentuknya jika kena manusia sebagai benda biologis. Manusia sejak awal mula biasa hidup dalam medan listrik dan medan magnetis tersebut. Jika manusia membangun rumah sebagai perlindungan, maka ia mengubah juga medan listrik dan medan magnetis alam, dan sebaliknya baik medan listrik maupun medan magnetis alam (*spherics*) mempengaruhi manusia sebagai berikut.

Manusia di lapangan terbuka dengan pengaruhnya terhadap radiasi kosmis

Manusia di dalam rumah dengan pengaruhnya terhadap radiasi kosmis yang tidak ada lagi atau yang sedang mengubah efeknya

6.4 Radiasi teknik

Radiasi teknik sering juga dinamakan *technics* atau radiasi buatan yang terdapat pada instalasi listrik, penyinaran gelombang radio, TV, dan radar yang akan dibedakan antara medan listrik dan medan magnetis.

Medan listrik buatan terdapat di mana ada kabel listrik yang disambung dengan pembangkit listrik, tetapi tidak disambung dengan pemakai (lampu dsb.). Medan listrik dapat dibuktikan sampai dengan jarak 18.0 m dari kabel tersebut. **Walaupun tiada listrik yang mengalir, medan listrik masih ada.**

Medan magnetis buatan ada sesudah pemakai tersebut disambung (misalnya, lampu menyala). Sekarang listrik mengalir dalam kabel satu dari pembangkit ke arah pemakai dan dalam kabel kedua kembali dari pemakai ke pembangkit. Medan magnetis pada kabel listrik biasa dapat

dibuktikan hanya pada jarak sekitar 1.0 m, akan tetapi setiap kumparan dalam peralatan listrik mengakibatkan medan magnetis yang kuat. **Listrik yang mengalir mengakibatkan medan magnetis.**

Pengaruh medan listrik dan medan magnetis atas kesehatan manusia[22]:

Medan magnetis buatan statis akan timbul dalam hubungan dengan kasur per (*spring bed*) yang menerima dan menyalurkan medan magnetis buatan lewat kabel listrik yang dekat. Oleh karena itu, orang yang peka terhadap radiasi listrik buatan menghindari tidur di atas kasur per tersebut. Kemudian juga oleh muatan listrik yang dipisahkan dalam bahan sintetik seperti pelapis lantai vinil, karpet sintetis, dan sebagainya. Hal ini mengakibatkan sentakan listrik pada saat memegang bahan logam seperti pegangan pintu dan sebagainya.

Sebagai gambaran medan listrik dan medan magnetis yang alami dan yang buatan dapat diperhatikan tabel berikut.[23]

22 lihat: Katalyse e.V. (ed.) *Elektrosmog*. Heidelberg 1994. hlm. 136.

23 Katalyse e.V. (ed.) *op. cit.* hlm. 26, 143, 190.

Uraian	Nilai medan listrik	Nilai medan magnetis
medan alamiah	0.0001 V/m	0.000 001 μT
medan buatan di dalam rumah tinggal	5-40 V/m	0.05-0.1 μT
peralatan listrik (jarak 30 cm):		
mesin bor tangan	?	16 μT
alat TV berwarna	90 V/m	4 μT
blender	100 V/m	10 μT
radio, set stereo	180 V/m	5 μT
monitor komputer dengan MPR II	25 V/m	0.25 μT
alat seterika	120 V/m	0.4 μT
bola lampu 40 W	5 V/m	0.5 μT
tabung fluoresensi (lampu neon) 40 W	?	4 μT
lemari es	110 V/m	0.3 μT
saluran tegangan tinggi 220kV/1000A		
di bawah saluran	2.5-6 V/m	8-16 μT
pada jarak 40 m	1-2 V/m	1-3 μT
batas daya tangkap manusia	1 V/m	
syarat ekologis, medan maks. siang	20 V/m	0.4 μT
medan maks. malam	10 V/m	0.2 μT

Pengertian istilah fisika/listrik yang mendasar:[24]

Simbol	Nama	Satuan ukuran	Contoh
V	Volt	potensial listrik	batu baterai 1.5 V instalasi rumah tinggal 220V
A	Ampere	kekuatan arus listrik	sekring/pengaman arus listrik rumah tangga 6 A
W (VA)	Watt	tenaga listrik	bola lampu 40 W tabung fluoresensi 20 W
V/m	Volt / meter	medan listrik	medan listrik di bawah saluran tegangan tinggi bisa sampai 7'000 V/m
T	Tesla	medan magnetis	medan magnetis dari bumi ± 50 μT (T = Vs/m²)
Hz	Hertz	frekuensi	jaringan listrik 50 Hz

24 Katalyse e.v. (ed.) *Op.cit.* hlm. 10.

Untuk memenuhi syarat ekologis, maka harus diperhatikan hal-hal berikut.[25]

- Jarak minimal pada layar TV hitam-putih adalah = 2.0 m, pada TV berwarna = 4.0 m.
- Jarak minimal untuk membangun rumah tinggal dekat pada saluran tegangan tinggi adalah:
  pada 110 kV dengan 325 A = 80 m;
  pada 220 kV dengan 825 A = 120 m;
  pada 380 kV dengan 1'300 A = 160 m.
- Medan listrik dapat dihilangkan dengan menggunakan pipa besi dengan pembumian (pentanahan) di luar kabel listrik.
- Medan magnetis hanya dapat dihilangkan dengan mematikan listrik sama sekali dengan melepaskan sekering.
- Medan listrik maupun medan magnetis dapat dikurangi dengan menggunakan kawat listrik yang dijalinkan.[26]

Saraf manusia dapat dimengerti sebagai kabel listrik yang mengalirkan listrik arus bolak-balik berfrekuensi 8 Hz (dalam keadaan tidur) sampai dengan 40 Hz (dalam keadaan terangsang) ke otak manusia.

Untuk mengatasi pengaruh atas kesehatan manusia tersebut, maka ANSI menyediakan daftar batas keamanan terhadap medan listrik dan kekuatan medan magnetis sebagai berikut.

Daftar batas keamanan terhadap medan listrik:[27]

Uraian	Medan listrik	Jarak keamanan
monitor komputer dengan MPR II	25 V/m	50 cm
TV berwarna	90 V/m	30 cm
saluran tegangan tinggi		
110 kV, 325 A	300 V/m	minimal 20 m
220 kV, 825 A	400 V/m	minimal 30 m
380 kV, 1300 A	500 V/m	minimal 40 m

25 menurut: Katalyse e.V. (ed.) *op. cit.* hal. 171, 190.

26 menurut: Mayr Yosef. *Verdrillte Leitungen Verhindern elektrische und magnetische Felder!* Dalam: majalah *Baubiologie* no. 1. wil 1997. hlm. 2-6; lihat juga bab ini hlm. 153.

27 Ibid.

Uraian	Medan listrik	Jarak keamanan
Syarat ekologis		
medan maksimal	20 V/m pada malam 10 V/m	
TV hitam putih TV berwarna		minimal 2 m minimal 4 m
saluran tegangan tinggi 110 kV, 325 A 220 kV, 825 A 380 kV, 1300 A		minimal 80 m minimal 120 m minimal 160 m

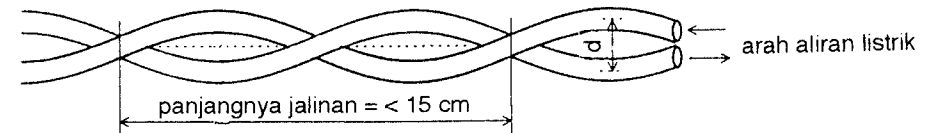
Daftar batas keamanan terhadap kekuatan medan magnetis:[28]

Uraian	Medan magnetis	Jarak keamanan
monitor komputer dengan MPR II	0.25 mT	50 cm
TV berwarma	4 mT	30 cm
saluran tegangan tinggi 110 kV, 325 A 220 kV, 825 A 380 kV, 1300 A	1.5 mT 2 mT 3 mT	minimal 20 m minimal 30 m minimal 40 m
Syarat ekologis		
medan maksimal	0.4 mT pada malam 0.2 mT	
TV hitam putih TV berwarna		minimal 2 m minimal 4 m
saluran tegangan tinggi 110 kV, 325 A 220 kV, 825 A 380 kV, 1300 A		minimal 80 m minimal 120 m minimal 160 m

Cara pemecahan permasalahan terhadap radiasi teknik

Sedangkan radiasi medan listrik alam dan medan magnetis alam tidak mengakibatkan dampak negatif atas kesehatan manusia, radiasi medan listrik buatan dan medan magnetis buatan dapat mengganggu kesehatan manusia dalam berbagai cara.

28 menurut: Katalyse e.V. (ed.) *op.cit.* hlm. 171, 190.

- Menghindari letaknya kabel listrik dekat pada tempat tidur, terutama dekat pada tempat tidur anak dan keranjang bayi. Memperhatikan juga arahnya saluran listrik masuk rumah di atas atap.
- Kawat listrik (+ dan -) dijalinkan sedemikian rupa sehingga jumlah perputaran per meter adalah minimal 6-7 menurut gambar berikut.

- Menggunakan kabel yang terlindung (kabel yang dilapisi tenunan kawat tipis di bawah selubungnya atau pipa instalasi listrik dari bahan logam tipis) dan yang pelindungnya (tenunan kawat tipis atau pipa logam) dibumikan.
- Yang paling efektif dan sederhana adalah mematikan/melepaskan sekering-sekering utama pada waktu tidur malam karena medan listrik timbul pada setiap kabel listrik yang dihubungkan dengan jaringan PLN tidak tergantung dari pemakai listrik (lampu dsb.) hidup atau mati.
- Sistem yang berfungsi seperti mematikan sekering utama adalah peralatan sakelar pemutus jaringan listrik (*bio-switch*).

6.5 Frekuensi yang dapat dilihat dan didengar

Seperti pada tabel susunan radiasi elektromagnetik,[29] telah terurai adanya dua 'jendela' radiasi, satu yang dapat dilihat (4.3 x 10^{14} sampai dengan 7.5 x 10^{14} Hz, frekuensi cahaya) dan yang dapat didengar (20 sampai dengan 20'000 Hz, frekuensi rendah).

Karena pada bab 2. Perencanaan eko-arsitektur telah diterangkan masalah pencahayaan dan warna,[30] maka dalam hubungan ini hanya perlu dibicarakan persoalan mendengar (kebisingan, akustik, dan telinga lebih lanjut.

Indra pendengar dan kebisingan

Di masa depan manusia harus melawan kebisingan seperti halnya pada masa yang lalu terhadap kolera dan penyakit pes.[31]

29 lihat bab 6.1: Pengaruh radiasi atas kesehatan manusia. hlm. 136.

30 lihat: Pencahayaan dan warna. hlm. 47-53.

31 dr. Robert Koch, bakteriolog dan pemenang hadiah Nobel 1910, dikutip dari: Schneider, Anton. *op.cit.*, bab 7, hlm. 1.

Apa yang dr. Robert Koch duga pada permulaan abad ini telah terjadi. Tetapi daripada melawan kebisingan, lebih baik kebisingan dicegah. Dalam hal ini peradaban, teknik ekonomi, pembuat undang-undang, serta kita semua telah gagal.

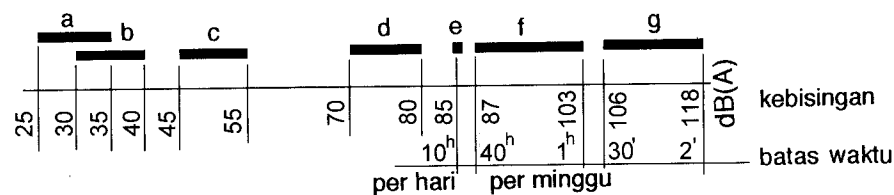
Melawan kebisingan adalah suatu kegiatan primer di eko-arsitektur. Kebisingan adalah pencemaran udara melalui telinga. Kepercayaan terhadap teknik pada umumnya akan mempersulit pencegahan terhadap kebisingan.

Pengalaman yang buruk terhadap kebisingan adalah:

- lalu lintas bermotor: tidak jarang truk maupun sepeda motor berisik dengan suara >90 dB tanpa ditegur oleh peraturan atau polisi lalu lintas; dan
- pesawat terbang yang menggunakan kampung di dalam kota sebagai jalur lintasan pendaratan dengan kebisingan >120 dB.

Karena bangunan di daerah tropis memiliki konstruksi sangat ringan dan dinding luarnya terbuka, maka sulit sekali meredam suara melalui konstruksi gedung dan pilihan bahan bangunan. Akan tetapi, walaupun berada di dalam gedung tertutup yang ber-AC seperti rumah makan, pasar swalayan dan sebagainya, telinga masih saja tetap disakiti oleh pencemaran udara seperti *'live-music',* pengeras suara, dan musik-musik lainnya. Hal yang sama terjadi di pabrik dan di tempat bangunan.

Kebisingan tersebut secara terus-menerus akan mengubah watak kepribadian, sehingga merasa stres, pengunduran diri atau agresi dan mengakibatkan tekanan darah tinggi serta pekak labang.

Kerasnya kebisingan dalam dB(A) serta pengaruhnya:

Pada diagram ini tanda huruf kecil masing-masing berarti:

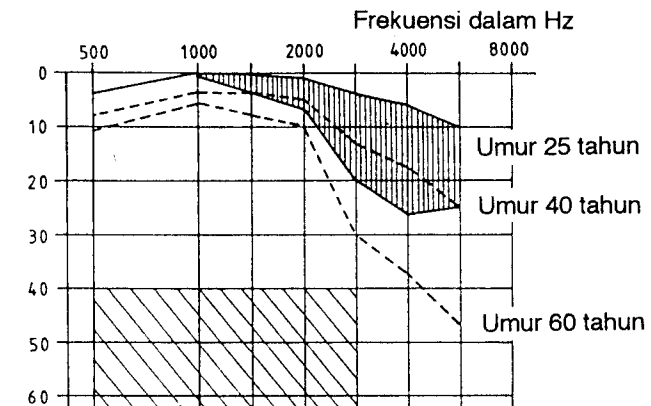
a batas kebisingan pada rumah tinggal untuk ruang tidur yang sehat
b batas kebisingan pada rumah tinggal untuk ruang istirahat siang
c batas kebisingan untuk pekerjaan mental

d batas kebisingan untuk pekerjaan manual/masinal dan batasan umum yang mana telinga manusia sehat dapat menahan.[32]

Jika batas ini dilewati, jangka waktu kebisingan harus dibatasi sebagai berikut:[33]

e jangka waktu kebisingan terbatas dalam jam (h) per hari
f jangka waktu kebisingan terbatas dalam jam (h) per minggu
g jangka waktu kebisingan terbatas dalam menit (') per minggu

Hubungan antara kerasnya kebisingan dan jangka waktu telinga manusia terkena oleh kebisingan tersebut tanpa mengalami pekak labang (agak tuli), maka pada setiap kelipatan dua dari kerasnya kebisingan = +3 dB(A) berarti bahwa jangka waktu telinga manusia kena kebisingan tersebut harus dibagi dua juga.

Diagram berikut[34] memberi gambaran tentang pekak labang oleh kelebihan jangka waktu telinga manusia terkena kebisingan tersebut.

Hilangnya kemampuan mendengar dalam dB

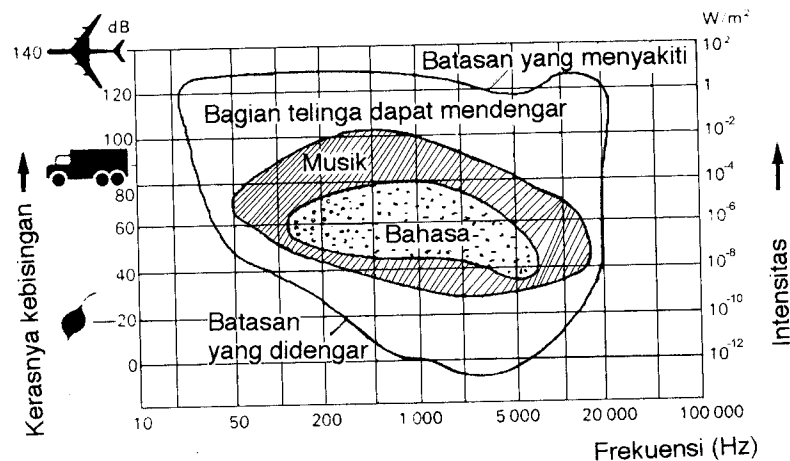
- Dalam diagram ini garis turun-naik menunjukkan kemampuan mendengar suara di antara 500 s/d 8000 Hz (bagian berbicara) oleh seorang yang berumur 25, 40, dan 60 tahun.
- Bagian bergaris sejajar vertikal menunjukkan penurunan kemampuan mendengar dari seorang yang berumur 25 tahun dan yang telah bekerja selama 10 tahun dalam kebisingan 95 dB(A).
- Bagian bergaris sejajar miring menunjukkan kehilangan kemampuan mendengar dengan baik dan kemampuan berbicara dengan orang lain tanpa alat pengeras suara.

---

32 menurut: Gartner, Karl/Winklbaur, Günther. *op. cit.* hlm. 24.

33 menurut: Fellenberg, Günter. *Lebensraum Stadt.* Stuttgart 1991. hlm. 224.

34 *ibid.* hlm. 228.

Tanggapan kebisingan dengan telinga manusia dapat digambar sebagai berikut.[35]

Tanggapan kebisingan dengan telinga manusia

Batasan rasa sakit pada telinga manusia terletak pada 130 dB (lihat daftar tanggapan kebisingan dengan telinga manusia di atas, dapat disamakan dengan ledakan mercon yang digunakan untuk memeriahkan berbagai peristiwa).

Pada kekerasan kebisingan 180 dB manusia meninggal dunia akibat kejutan.

Harus diketahui juga bahwa hampir semua kekurangan pada alat pancaindra manusia dapat diperbaiki (diobati/dioperasi) kecuali pekak labang dan tuli.

Menurut penelitian baru, peristiwa kebisingan juga mengganggu kemampuan belajar, terutama di bidang belajar bahasa.[36]

Semoga berita buku ini dapat dibaca dan didengar serta diterima dan diterapkan demi kebaikan masa depan.

35 lihat: Ahlheim, Karl-Heinz (ed.) *Die Umwelt des Menschen – Wie funktioniert das?* edisi ke-2. Mannheim 1981. hlm. 421.

36 Bandingkan penelitian Gary Evans dan Lorraine Maxwell dari Cornell University. Menurut: Holenstein, Rolf. *Gestörtes Sprachenlernen.* Dalam: *Weltwoche* no. 21. Zürich 1997. hlm. 69.

Kesimpulan akhir dan pandangan ke masa depan

Makin lama makin lebih manusia merasa tersinggung oleh pembangunan yang membatasi ruang hidup mereka. Pada masa Hindu Kuno seorang arsitek menjadi pendeta yang mengatur ruang gerak manusia di hadapan dewa-dewi, sebagai pembantu Visvakarman (dewa arsitek) dan inkarnasi Brahma. Kemudian arsitek menjadi Sthapati, salah satu dari empat wajah atau putra dari Vishvakarman (yang memiliki empat wajah menurut arah angin) dan merupakan ahli bangunan. Pada masa kini yang dinamakan arsitek di Indonesia sudah tidak dapat dinamakan pendeta atau ahli bangunan lagi, karena hanya mampu menggambar (mendesain) bangunan. Sebenarnya kita mengangkat Sutragrahi, anak kedua Vishvakarman, yang sebagai ahli gambar bangunan ditugaskan sebagai pembantu si arsitek, menjadi arsitek.

Secara tradisional pembangunan perumahan di Indonesia dilakukan dengan bahan bangunan alam yang tahan lamanya sangat terbatas, yaitu kayu, bambu, daun-daunan, rumput, dan serat-serat alam. Dengan perkembangan teknologi baru di Indonesia pun digunakan bahan bangunan modern seperti batu merah, kaca, beton bertulang, dan sebagainya yang tahan lamanya hampir tidak terbatas lagi. Oleh karena itu, kualitas bangunan yang didirikan makin lama makin penting. Pikiran kuantitatif-material tidak memenuhi kebutuhan masyarakat lagi. Penggunaan bahan bangunan dan teknologi modern dalam pembangunan harus sesuai dengan tahan lamanya, yang berarti bahwa hasilnya (gedung) harus fleksibel dalam penggunaan dan cocok dengan cara kehidupan penghuni (pikiran kualitatif-kemanusiaan).[37] Di samping biaya pembangunan yang dapat dihitung dalam Rupiah adalah juga nilai pembangunan secara imaterial yang tidak ternilai dalam mata uang, tetapi sangat berharga bagi jiwa dan kesehatan manusia.

Perhatian terhadap penggunaan sumber alam (bahan baku, energi, dan tanah yang digunakan) menuntut penghematan pada segala kegiatan. Pencapaian tersebut adalah pencapaian yang berlangkah kecil, pikiran dalam unsur-unsur kecil dan pembagian lahan serta dengan rumah yang padat. Hal ini tidak mengurangi kualitas kehidupan karena

37 Kunz, Heinrich. *Bauen für und durch den Menschen.* Dalam: majalah SI+A no. 11. Zürich 1981. hlm. 211-214.

kualitas menghuni tidak tergantung secara langsung dari luasnya denah.[38] Jika kita, misalnya, merencanakan perumahan dengan rumah sederhana tipe 21 m² sampai 36 m² yang dilengkapi dengan jalan pencapaian selebar 18 m, maka tuntutan mengenai penghematan ruang alam dan perencanaan ruang hidup yang padat dan berkualitas tinggi tidak dapat dicapai.

Patokan pembangunan selalu adalah kehidupan manusia dengan segala tuntutan fisis maupun psikis. Seorang arsitek harus menyediakan perencanaan yang bertalian erat dengan konsep ruang yang fleksibel dan variabel sehingga dapat menjamin kualitas ruang hidup yang tinggi. Kualitas ruang yang tinggi mempertingkatkan kualitas kehidupan manusia. Pengertian dan penerapan eko-arsitektur dapat membantu pada pencapaian tujuan tersebut yang tinggi sekali.

38 Day, Christopher. *Places of the Soul*. London 1990. hlm. 35

7. Lampiran

7.1 Daftar kata

AC	1) pesawat untuk menyalur udara dan mengatur suhu serta kelembapan dalam gedung/ruangan 2) aliran arah listrik yang berbolak-balik dalam ukuran maupun jurusan. Pada listrik arus bolak-balik biasanya dipilih frekuensi 50 Hz berbentuk sinus
air	persenyawaan antara suatu atom oksigen dengan dua atom hidrogen. Air sangat penting untuk kehidupan. Air mempunyai tiga bentuk agregat yaitu: padat, cair, dan gas
air conditioner	→ AC
(angka) neptu	ramalan lewat angka-angka (numerologi gaib) menurut waktu, huruf, dan sebagainya
api	reaksi kimia yang mengakibatkan panas dan cahaya yang berasal dari sesuatu yang terbakar
atmosfer	lapisan udara yang menyelubungi bumi sampai ketinggian ± 1000 km
azimut	besarnya sudut yang diapit oleh garis yang ditentukan dengan garis Utara – Selatan dan garis potongan lingkaran besar pada cakrawala. Dihitung menurut arah jarum jam mulai dari titik Utara dengan nilai 0°
Bariloche (pola)	menurut Prof. Dr. Paul Bariloche meniru keadaan sebenarnya perkembangan kota secara dinamis dengan menghubungkan ekonomi dan kependudukan dengan kebutuhan dasar atas pangan, papan (rumah), dan pendidikan. Pola tersebut diterbitkan pada tahun 1976
biosfer	menjadi lapisan yang dapat digunakan sebagai tempat hidup bagi segala makhluk dan yang batasannya agak kabur ke arah litosfer (batu-batuan dan leburan magma di dalam bumi) dan ke arah atmosfer (udara) yang mengelilingi bumi dan memungkinkan penggunaan energi surya sebagai tenaga penggerak pada proses-proses biologis

building-recycling — menggunakan kembali gedung yang ada dengan fungsi yang berlainan

bumi — planet ketiga dari matahari, tempat manusia hidup

cakrawala — lingkaran besar di bola langit yang terbentuk pada perpotongan bola langit dengan bidang datar horizontal yang melalui tempat pengamat pada permukaan bumi

chronos — pengertian waktu sebagai jangka waktu yang dapat diukur dengan jam, menit, detik, dan sebagainya, prinsip yang dianggap linear

daur — peredaran masa atau tahun (istilah dari bahasa Jawa kuno). Dalam tarikh Jawa satu daur berisikan empat windu (windu adi, kuntera, sengara, dan sancaya), jadi 32 tahun Jawa. Kemudian, juga ada daur besar, peredaran masa yang lamanya 120 tahun Jawa

dB — desibel = satuan ukuran untuk mengukur kerasnya suara

dB (A) — desibel A = satuan ukuran untuk mengukur ketajaman pendengaran sesuai dengan telinga manusia

eko-arsitektur — pengertian pembangunan secara holistis (berhubungan dengan sistem keseluruhan), yang memanfaatkan pengalaman manusia (tradisi dalam pembangunan), sebagai proses dan kerja sama antara manusia dan alam sekitarnya

ekolabel — label atau tanda yang dilekatkan pada bahan-bahan dalam perdagangan, yang menyatakan produk tersebut tidak menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan. Ekolabel tersebut menyeruak ke permukaan sebagai jawaban atas tuduhan masyarakat tentang perusakan lingkungan alam, penggunaan bahan-bahan yang menimbulkan polusi, atau pemanfaatan sumber-sumber hayati lain yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan alam

ekologi — ilmu mengenai hubungan timbal balik antara makhluk hidup dan alam sekitarnya (lingkungannya)

ekosistem — semua sistem yang dalam hierarki lebih tinggi daripada organisme. Oleh karena setiap sistem mengandung sistem sebelumnya (yang lebih sederhana), maka makin tinggi organisasi makin rumit sistemnya

frekuensi — jumlah getaran gelombang per detik

Gaia — nama dewi bumi. Dipakai sebagai nama gerakan (→ hipotesis Gaia) yang didirikan oleh dokter dan ilmuwan James Lovelock (sebagai paradigma baru dari biologi dan geologi) pada awal 1970-an dengan model 'daisyworld'

garis bujur matahari — lingkaran besar yang terletak tegak lurus atas cakrawala pada jam siang (bedhug, tengange) sebagai titik tertinggi matahari

gen — unsur sel plasma yang mengendalikan penerusan ciri-ciri keturunan

genius loci — roh pelindung manusia pada zaman dahulu, sekarang umumnya roh tempat suci atau tempat pembangunan. Sering berwujud dalam bentuk naga (ular mistis) yang juga melambangkan potensi kelakian

global — menyeluruh atau mendunia

GNP — pendapatan kotor nasional

hipotesis Gaia — menganggap bahwa bumi adalah makhluk hidup organik yang luar biasa besar dan yang mengatur suhu, iklim, dan susunan kimia udara, serta saling menukar informasi dengan makhluk-makhluk lainnya

holistik — (atau integral) ciri pandangan yang menyatakan bahwa keseluruhan sebagai suatu kesatuan adalah lebih daripada satu-satu bagian dari suatu organisme karena di samping bagian-bagian, mengandung juga hubungan antara bagian masing-masing

Hz — Hertz = satuan perbandingan dari jumlah periode dengan waktu yang berhubungan suatu getaran harmonis atau berbentuk sinus (Hz = getaran per detik)

jaringan — kumpulan sel yang memiliki bentuk dan tugas yang sama, misalnya jaringan otot

kairos — pengertian waktu sebagai saat tertentu yang menguntungkan, prinsip yang tertunduk siklus

kalang (pakuya) — ahli bangunan yang biasanya dipekerjakan pada zaman purba di keraton dan digolongkan pejabat atas; dibedakan atas kalang Blandhon (tukang kayu), kalang Obong (tukang jawatan kehutanan), kalang Adeg (perencana,

arsitek), dan kalang Abrek (tukang ahli pemugaran dan pemeliharaan gedung). Nama ini juga digunakan untuk menyebut anggota kasta Hindu, khususnya ahli bangunan pada masa itu

karsinogenik — zat kimia, gas, virus, dll. yang menjadi sebab terjadinya penjakit kanker, yang mengakibatkan tumbuhnya tumor ganas pada jaringan tubuh

kesinambungan — (sustainability) penemuan kebutuhan masa kini, tanpa mengorbankan hak penemuan kebutuhan di masa yang akan datang. Tujuannya adalah mutu kehidupan dengan tetap berusaha tidak melampaui kemampuan ekosistem yang mendukung kehidupan

klorofluorokarbon — kelompok persenyawaan kimia yang terdiri dari klor, fluor, dan karbon (CFC). CFC secara kimia bersifat stabil sekali dan tidak berbahaya secara langsung terhadap kesehatan. Oleh karena itu, gas-gas ini banyak dipergunakan dalam perindustrian seperti peniupan busa, pendingin pada AC dan lemari es, serta penyemprot

komunitas — kumpulan populasi yang menempati suatu daerah tertentu

konstruksi — (construere) susunan dan hubungan bahan bangunan sedemikian rupa sehingga penyusunan tersebut menjadi satu kesatuan yang tahan dan kuat

kualitas struktur — pemanfaatan prinsip-prinsip ekologis pada perencanaan lingkungan buatan (pembangunan dsb.). Perumahan maupun pedesaan dapat dianggap sebagai ekosistem (peredaran) yang berhubungan erat dengan peredaran alam (hukum alam)

lapisan ozon — berbentuk seperti mantel yang menyelimuti bumi. Lapisan ozon melindungi makhluk hidup dari pancaran sinar ultraungu yang berasal dari matahari

life-cycle assessment — (LCA) menerangkan rantai bahan bangunan sebagai riwayat hidup bahan (dari bahan mentah sampai menjadi puing dan sampah)

lingkaran besar — lingkaran pada bola angkasa yang bidang lingkarannya yang tegak lurus atas cakrawala melalui zenit dan titik pusat matahari

masa pakai — waktu penggunaan bahan bangunan yang terbatas oleh pengaruh fisik maupun nonfisik sebagai berikut:
- karena aus, rusak, atau usang (harus diganti);
- karena perkembangan teknologi (tidak diizinkan lagi memakainya);
- karena tidak laku lagi (membosankan), misalnya bentuk, warna, motif, dsb.

mdpl — meter di atas permukaan laut

mendaur ulang — bahan bangunan, sesudah dipakai, dapat didaur ulang (batu tanah liat yang direndam dan dicetak ulang, konstruksi atap kayu lama menjadi kosen dsb.) dalam peredaran ulang atau rantai bahan

menggunakan kembali — bahan bangunan, sesudah dipakai, langsung dapat digunakan lagi (genting, kaca, batu alam yang ditarah dsb.)

mengolah kembali — bahan bangunan, sesudah dipakai, dapat diolah (digerinda, dilebur, diproses, dsb.) sehingga terdapat bahan asli lagi, ada bahan lain yang dapat dimanfaatkan

metana (CH_4) — gas yang banyak dihasilkan dari aktivitas pertanian (terutama persawahan dan peternakan sapi), biogas

minimal — sekurang-kurangnya atau sekecil-kecilnya dalam nilai, jumlah, maupun ukuran. Istilah minimal digunakan dalam arti yang positif dan bukan sebagai yang murah, tidak berharga, atau sampah

MPR — rekomendasi tentang radiasi layar komputer yang diperbolehkan menurut 'National Council for Metrology and Testing' di Stokholm, Swedia

mutagen — zat kimia, gas, virus, dll. yang menjadi sebab terjadinya perubahan yang terjadi mendadak dalam kromosom dan sedemikian mempengaruhi generasi berikut

optimal — terbaik, yang paling menguntungkan, digunakan sebagai nilai tujuan jika hasil dan keuntungan atau efisiensi harus besar atau yang diharapkan akan besar

organ — alat tubuh yang mempunyai tugas tertentu, seperti misalnya kaki atau telinga pada manusia, daun dan akar pada tumbuhan

organisme — suatu benda hidup, jasad hidup, atau makhluk hidup

pamindangan menentukan panjangnya blandar dan pengerat serta tingginya di atas lantai atau panjang/lebar/ tinggi rong-rongan (ukuran di antara saka guru). Penting berhubungan dengan penentuan angka neptu berkaitan dengan penggunaan ruang dan proporsi gaib

pemanasan global proses kenaikan suhu yang terjadi di dalam troposfer. Pemanasan ini terjadi sebagai akibat adanya aktivitas manusia di permukaan bumi, terutama dari aktivitas perindustrian. Penambahan gas-gas yang bisa menyerap energi berupa sinar gelombang panjang (gas-gas rumah kaca) makin memungkinkan kenaikan suhu di permukaan bumi

peredaran peralihan dari keadaan yang satu ke keadaan yang lain yang berulang-ulang seakan-akan merupakan suatu lingkaran (istilah dari bahasa Melayu). Digunakan umumnya di bidang kedokteran (peredaran darah) atau di bidang fenologi (peredaran musim)

pH nilai pH, menentukan dalam logaritmus negatif konsentrasi ion hidrogen. Penentuan apakah larutan tertentu bereaksi asam atau alkalis.

pikiran sistematik dalam hubungan karya ini tidak mencakup susunan atau aturan saja, melainkan juga mengandung pengertian sistematik secara terintegrasi dan secara terorganisasi

populasi sekumpulan makhluk hidup dari jenis yang sama dan hidup bersama-sama pada suatu tempat dan waktu

prinsip struktur hubungan antara bagian bangunan yang menerima beban dan bagian yang tidak menerima beban (bagian yang membagi ruang). Prinsip struktur dapat dibedakan:
- konstruksi bangunan masif. Ruang terbentuk oleh bagian bangunan yang menerima beban, atau dengan kata lain, semua bagian bangunan menerima beban;
- konstruksi bangunan pelat dinding sejajar. Pada konstruksi ini hanya pelat dinding searah saja yang menerima beban (arah memanjang atau melebar);
- konstruksi bangunan rangka. Bagian bangunan yang menerima beban dan bagian yang membagi bangunan menjadi sesuai dengan prinsipnya yang terpisah

radiasi pemancaran dan perambatan gelombang yang membawa tenaga melalui ruang atau zantara, mis. pemancaran/perambatan gelombang elektromagnetik, gelombang bunyi, penyinaran, dsb.

radiasi kosmis medan elektromagnetik kosmis (spherics) terdapat oleh penukaran ion-ion bumi dengan ion-ion dari angkasa yang mempengaruhi keadaan cuaca. Pengaruh lain adalah aktivitas pada matahari (bintik atau angin pada matahari) dan pengaruh bulan, misalnya atas medan magnetik bumi yang mengakibatkan pasang-surut laut

radiasi teknis terdapat oleh instalasi listrik, penyinaran gelombang radio, radar, dsb. (technics). Perubahan medan listrik dan medan magnetik bisa mengganggu kesehatan makhluk hidup, sedangkan frekuensi tinggi (bagian hotspot) bisa merusak sel-sel akibat panas

radiasi teristis terdiri dari radioaktivitas bumi yang umum dan yang bisa lebih besar jika kena retak dari dislokasi geologis. Di samping itu, ada pengaruh elektromagnetik yang diakibatkan oleh aliran air di bawah tanah, jaringan Hartmann, jaringan Curry, dsb. yang bisa mengganggu keseimbangan radiasi terhadap kehidupan makhluk di bumi ini serta kesehatannya. Radiasi teristis dapat dianggap sebagai sistem informasi dari bumi kepada semua makhluk dan benda

resikling istilah umum berhubungan dengan pemulangan bahan bangunan, sampah bangunan, dan puing-puing. Istilah resikling mengandung juga istilah → mengolah kembali, → mendaur ulang, → menggunakan kembali serta → building-recycling

rite de passage upacara peralihan kehidupan manusia, seperti misalnya kelahiran, tingkeban, tedak siten, ruwatan, sunatan (khitanan), perkawinan, dan kematian. Hal yang mirip timbul dalam pembangunan tradisional di mana rumah dianggap sebagai makhluk dan bukan benda

sampah bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil kegiatan manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomis

sampah anorganik dihasilkan dari sumber daya alam tak terbarui seperti mineral, eksplorasi minyak, dan proses industri. Bebe-

rapa bahan ini tidak ada di alam seperti plastik atau aluminium. Sebagian zat anorganik secara keseluruhan tidak dapat diuraikan oleh alam, sedangkan sebagian yang lain hanya diuraikan secara lambat. Sampah bangunan jenis ini berupa kaca, kertas, kardus, botol dan pipa plastik, tas dan lembaran plastik, kaleng, dsb.

sampah organik — terdiri dari bahan-bahan penyusun tumbuhan dan hewan yang diambil dari alam atau dihasilkan dari kegiatan pertanian, perikanan, atau yang lain. Sampah ini dengan mudah diuraikan dalam proses alami. Sampah bangunan jenis ini agak sedikit merupakan sampah organik, seperti kayu, ijuk, rumbia, dll., sedangkan sampah rumah tangga sebagian besar merupakan bahan organik, seperti sisa tepung, beras, sayuran, kulit buah, daun, dll.

sel — bagian terkecil dari organisme yang terdiri atas inti dan protoplasma yang terkandung dalam selaput sel

sick-building-syndrom — sindrom adalah penyakit rumah, gangguan kesehatan penghuni akibat bahan bangunan atau pencemaran udara di dalam rumah dsb.

siklus — putaran waktu yang didalamnya terdapat rangkaian kejadian yang berulang-ulang secara tetap dan teratur (misalnya periodik osilasi di bidang listrik atau bidang komputer).

sistem gen — kerja sama antara gen-gen sehingga kelanjutan ciri-ciri keturunan dapat diwariskan bersama-sama secara utuh (DNS-kode = zat asam Desoxyribonuklic)

sistem organ — kerja sama secara harmonis di antara struktur dan fungsi, misalnya kerja sama antara mata dan telinga atau antara mata dan telinga dalam suatu tubuh

sistem organisme — kumpulan beberapa makhluk hidup misalnya keluarga yang kerja sama

sistem populasi — populasi sejenis yang menempati suatu daerah tertentu misalnya suku dsb.

stratosfer — lapisan dari atmosfer yang terletak di atas troposfer. Ketinggiannya antara sekitar 15 km dan 50 km di atas permukaan laut. Masalah yang terdapat pada lapisan stratosfer adalah perusakan → lapisan ozon

struktur — susunan atau pengaturan bagian-bagian gedung yang menerima beban atau konstruksi utama dari gedung tanpa mempedulikan apakah konstruksi tersebut dapat dilihat atau tidak kelihatan

struktur bangunan — → prinsip struktur

struktur bentuk — dimensi massa dan isi, ruang antara, dan segala kegiatan pengatur ruang

struktur fungsional — dimensi geometris berhubungan dengan penggunaan atau fungsi (kebutuhan ruang, ruang gerak, dsb.). Dimensi pengaturan ruang, dimensi fisiologis tentang kenyamanan, dan dimensi teknis dengan beban lantai, instalasi teknik, dsb.

struktur lingkungan — dimensi lingkungan alam (iklim, topografi, geologi, hidroligi, flora, fauna, pemandangan, serta radiasi teristis dan kosmis), lingkungan buatan (bangunan, sirkulasi, prasarana teknis, dan radiasi buatan), serta konteks sosial dan psikologis, sejarah dan genius loci, kesediaan bahan baku, ekonomi dan waktu, dsb.

sustainability — → kesinambungan

teknologi ekologis — → 'teknologi lunak'

teknologi keras — (hard technology) teknologi yang memperhatikan kemajuan sektoral teknologis saja tanpa mengamati dampaknya yang mungkin negatif terhadap lingkungan alam, manusia, dan kebudayaannya

teknologi lunak — (soft technology) teknologi yang seimbang dengan lingkungan sekitar, yang integral dengan kesadaran terhadap lingkungan alam, manusia, dan kebudayaannya

teknologi sederhana — (intermediate technology) teknologi yang dipromosi oleh E.F. Schuhmacher pada permulaan tahun 1970-an mengabaikan teknologi tinggi. Karena pandangannya terlalu sepihak saja, pada masa kini diganti dengan istilah 'teknologi lunak'

tinggi matahari — sudut antara cakrawala dan matahari yang diukur pada lingkaran besar matahari (di antara 0° dan 90°)

TPA — tempat pembuangan (sampah) akhir

TPS — tempat penampungan (sampah) sementara

troposfer — lapisan terbawah dari atmosfer (tepat di atas permukaan bumi) dengan ketinggian antara sekitar 12 dan 15 km di

atas permukaan laut. Bagian terbesar dari gas-gas di atmosfer terdapat di dalam troposfer

udara — campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi seperti yang makhluk hidup hirup apabila bernapas

waktu matahari sebenarnya; bumi mengelilingi matahari pada jalur yang berbentuk bundar lonjong (elips) yang mengakibatkan perbedaan jarak dalam tahun (mengakibatkan musim). Karena itu, menurut asas gravitasi kecepatan bumi pada jalur tersebut berbeda pula. Dengan demikian, jarak waktu antara dua garis bujur matahari pada dua hari yang berturut juga berbeda. Waktu matahari sebenarnya memperhatikan perbedaan-perbedaan tersebut

zenit — titik puncak di langit yang tegak lurus di atas tempat pengamat pada permukaan bumi terhadap cakrawala

7.2 Daftar pustaka

Abut, A. et al. **Climat-Habitat-Culture.** Report on the International Seminar TU Eindhoven. Eindhoven: AM-Research & Design Groep, 1985. 171 halaman

Ackermann, Kurt. **Tragwerke in der konstruktiven Architektur.** Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1988. 279 halaman

Ahlheim, Karl-Heinz (ed.) **Die Umwelt des Menschen. Wie funktioniert das?** edisi ke-2. Mannheim: Meyers Lexikonverlag, 1981. 592 halaman

Albrecht, Rainer/Rehberg, Siegfried. **Der volkswirtschaftliche Nutzen ökologisch orientierten Bauens und Wohnens.** Dalam: Schwarz, Ulrich. *Grünes Bauen - Ansätze einer ökologischen Architektur.* Reinbek/Hamburg: 1982. halaman 74-78

Alexander, Christopher. **A Pattern Language.** edisi ke-12. New York: Oxford University Press, 1977. 1215 halaman

Alexander, Christopher. **The Timeless Way of Building.** edisi ke-11. New York: Oxford University Press, 1979. 567 halaman

Anink, David/Boonstra, Chiel/Mak, John. **Handbook of Sustainable Building.** London: James & James, 1996. 175 halaman

Bagian Pemetaan Oxford University Press. **Atlas Geografi.** Jakarta: Pustaka Ilmu, 1984. 92 halaman

Béda, G./Szekeres A. **Thoughts on the cherry tree.** Paper for the International Svedala Symposium on Ecological Design. Budapest 1992.

Betty Sri Laksmi Jeni/Winiati Puji Rahayu. **Penanganan Limbah Industri Pangan.** edisi ke-2. Yogyakarta: Kanisius, 1995. 184 halaman

Binswanger, Hans Christoph. **Nachhaltigkeit und Verfassung.** Dalam: *Symposium Binding-Preis für Natur-und Umweltschutz.* Schaan 1995.

Büeler, Bosco/Hartmann, Peter. **Grobkonzept Umweltzeichen.** Ms. Flawil: SIB, 1992. 15 halaman

Burkhard, Maja/Iseli, Regula. **Schadstoffarmes Bauen.** Zürich: SIA-Dokumentation D 046, 1989. 87 halaman

Calvino, Italo. **Die unsichtbaren Städte.** München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1985.

Chatani Masahiro/Yagi Kōji/Mori Kazuharu/Yamuguchi Hiroshi. **Indoneshia Sulaweshi shima Sadan Toraja no shūraku to jūkyo no keitai.** (Analyses of Toraja Settlements and Housing in Sulawesi Island, Indonesia). Tokyo: Housing Architecture Research Institute, 1981.

Cofaigh, Eoin O. et al. **The climatic dwelling.** London: James & James, 1996. 172 halaman

Curry, Manfred. **Der Schlüssel zum Leben.** Zürich: Schweizer Druck-und Verlagshaus, 1969.

Daldjoeni, N. **Penduduk, lingkungan dan masa depan.** Bandung, 1977.

Daryanto/Dwi Prihanto/Farid Hadi Rahman/Suryatri Darmiatun. **Buku pendidikan kependudukan dan lingkungan hidup untuk guru STM.** (draft tidak diterbitkan). Malang: PPPGT, 1995.

Day, Christopher. **Places of the Soul.** London: Harper Collins Publications. 1990. 189 halaman

Dickson, David. **Alternative Technologie.** München: Trikont, 1978. 183 hlm

Direktorat Perumahan. **Rumah sehat dalam lingkungan sehat.** Jakarta, n.d. 50 halaman

Doczi, György. **The Power of Limits. Proportional Harmonies in Nature, Art, and Architecutre.** Boston, London: Shambhala, 1994. 150 halaman

Doernach, Rudolf/Heid, Gerhard. **Biohaus für Dorf und Stadt.** Frankfurt/M.: Fischer Taschenbuch, 1981. 149 halaman

Domenig, Gaudenz. **Tektonik im primitiven Dachbau.** ETH-Ausstellungs-katalog: Göttersitz und Menschenhaus. Zürich: ETH Institut GTA, 1980. 157 halaman

Dwi Prihanto/Agung Suprihatin/Gelbert, Michel. **Sampah dan pengelolaannya.** Buku pegangan guru untuk wallchart 006. (draft). Malang: PPPGT, 1996. 62 halaman

Egenter, Nold. **The Present Relevance of the Primitive in Architecture.** *Architectural Atnthropology.* Jilid 1. Lausanne: Structura Mundi, 1992. 215 halaman

Fellenberg, Günter. **Lebensraum Stadt.** Stuttgart: vdf, B.G. Teubner, 1991. 287 halaman

Fischer, Fred. **Das Licht als Ruhe- und Bewegungsfaktor des Raumes.** Ceramah. Zürich 1987

Fischer, Hermann. **Oberflächenbehandlung mit Naturfarben.** Dalam: *Schadstoffarmes Bauen.* Zürich: SIA-Dokumentation D 046, 1989. halaman 42, 44

Frick, Heinz. **Arsitektur dan Lingkungan.** edisi ke-2. Yogyakarta: Yayasan Kanisius, 1991. 134 halaman

Frick, Heinz. **Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia.** Yogyakarta: Yayasan Kanisius, 1997.

Frick, Heinz. **Rite de passage of house and man in Central Java.** Paper for the Annual Workshop of the European Social science Java Network. (tidak diterbitkan). London 1994.

Frick, Heinz. **Rumah sederhana. Kebijaksanaan, Perencanaan, Konstruksi.** Yogyakarta: Yayasan Kanisius, 1984. 190 halaman

Frick, Heinz. **Strukturformen indonesischer Bautechnik.** Diss. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 1995. 283 halaman

Frick, Heinz/Purwanto, LMF. **Sistem bentuk struktur bangunan.** Seri konstruksi arsitektur 1 (draft).

Fritsch, Bruno. **Mensch-Umwelt-Wissen. Evolutionsgeschichtliche Aspekte des Umweltproblems.** edisi ke-3. Zürich, Stuttgart: vdf, B.G. Teubner, 1993. 454 halaman

Fuad Amsari. **Prinsip-prinsip masalah pencemaran lingkungan.** edisi ke-2. Jakarta, 1981.

Gartner, Karl/Winklbaur, Günther. **Gesünder Wohnen.** Wien: Orac Verlag, 1984. 232 halaman

Gibran, Kahlil. **Sang Nabi.** edisi ke-12. Jakarta: Pustaka Jaya, 1995. 132 halaman

Gut, Paul/Ackerknecht, D. **Climate responsive building.** St.Gallen: SKAT, 1993. 324 halaman

Haas, Michiel. **TWIN-model, Milieu Classificatie-model Bouw.** Diss. Bussum: Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie bv., 1997. 274 halaman

Haefele, Gotfried/Oed, Wolfgang/Sabeth, Burkhard M. **Baustoffe und Oekologie.** Tübingen, Berlin: Ernst Wasmuth, 1996. 373 halaman

Hämmerli, Herbert. **Grundlagen zur Berechnung von Müllfeuerungen.** Dalam majalah: SI+A no. 19. Zürich 1983. halaman 505-520

Hardenberg, Joachim Graf von. **Entwerfen natürlich klimatisierter Häuser für heisse Klimazonen am Beispiel des Iran.** Düsseldorf: Werner-Verlag, 1980. 234 halaman

Hartmann, Ernst. **Krankheit als Standortproblem.** Ulm: Haug, 1976.

Hartmann, Jürgen. **Entwerfen.** Stuttgart: W. Kohlhammer, 1980. 152 halaman

Hofer, Max M. **Urbanisierungsprozees und Grundbedürfnis Wohnen in Entwicklungsländern.** Diss. Zürich: vdf, 1981. 849 halaman

Hugi, Hans R. **Angepasste Technologie für Entwicklungsländer.** Dalam: Majalah SI+A no. 50. Zürich 1983. halaman 1195

Hungerbühler, Ruedi. **Konstruktion im Hochbau.** 2 jilid. Dietikon: Baufachverlag, 1979. 591 halaman

I Nyoman Beratha. **Pembangunan desa berwawasan lingkungan.** Jakarta, 1991.

Institut für Baubiologie/Bauökologie. **Leitfaden: Die Baubiologie.** Zürich 1995.

Jauch, Kurt. **Kosmisches Mass und Heiligtum.** Schaffhausen: Novalis, 1996. 265 halaman

Kasser, Ueli/Ammann, Daniel. **Deklarationsraster für pkologische Merkmale von Baustoffen.** Zürich: SIA-Dokumentation D 093, 1992. 115 halaman

Katalyse e.V. (ed.) **Das Umweltlexikon.** edisi ke-3. Köln: Kiepenheuer & Witsch, 1993. 842 halaman

Katalyse e.V. **Elektrosmog.** Heidelberg: C.F. Müller, 1994. 226 halaman

Kelbaugh, Dough. **Die Natur als Entwurfsmodell.** Dalam: Schwarz, Ullrich. *Grünes Bauen - Ansätze einer ökologischen Architektur.* Reinbek/Hamburg: 1982. halaman 64-68

Keller, Rolf. **Bauen als Umweltzerstörung.** edisi ke-5. Zürich: Artemis, 1977. 192 halaman

Kiss, Miklos. **Neue Erkenntnisse zum Thema Tageslichtnutzung.** Dalam: Majalah SI+A no. 50. Zürich 1996. halaman 1127

Kiss, Miklos/Zoelly, Pierre. **Achtung Baustelle!** Basel: Birkhäuser Verlag, 1995. 140 halaman

Koesnadi Hardjasoemantri. **Hukum Tata Lingkungan.** edisi ke-5. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1993. 614 hlm.

Krusche, Per et al. **Oekologisches Bauen.** Wiesbaden, Berlin: Bauverlag, 1982. 360 halaman

Laugiers, Abbé. **Essai sur l'architecture.** 1753.

Le Corbusier. **1922 - Ausblick auf eine Architektur.** Bauwelt Fundamente 2. Braunschweig, Wiesbaden: 1982.

Lippsmeyer, Georg. **Bangunan tropis.** edisi ke-2. Jakarta: Erlangga, 1994. 201 halaman

Lovelock, James. **Gaia - the Practical Science of Planetary Medicine.** London: Gaia Books, 1991.

Lovelock, James. **The Ages of Gaia, a Biography of our Living Earth.** New York: W.W. Norton & Co., 1988.

Malin, Lisa. **Die schönen Kräfte.** edisi ke-5. Frankfurt/M.: Zweitausendeins, 1986. 233 halaman

Mayer, Hans/Winklbaur, Günther. **Biostrahlen.** edisi ke-3. Wien: Orac Verlag, 1985. 203 halaman

Messmer, Maja/Stutz, Erika. **Pemanasan global.** Buku pegangan guru untuk wallchart 003. (draft). Malang: PPPGT, 1996. 45 halaman

Mochtar Lubis. **Dampak Teknologi pada Kebudayaan.** Dalam: Mangunwijaya, Y.B. (ed.) *Teknologi dan Dampak Kebudayaan.* Jilid 2. Jakarta: Obor, 1985. halaman 8

Moerdiyono et al. (ed.) **Teknologi tepat guna untuk wanita di pedesaan.** Jakarta: MM Urusan peranan wanita/UNICEF, 1981. 174 halaman

Morris, William. **The earthly paradise.** 1997

Neddens, Martin C. **Oekologisch orientierte Stadt- und Raumentwicklung.** Wiesbaden, Berlin: Bauverlag, 1986. 254 halaman

Odum, Eugene P. **Dasar-dasar Ekologi.** edisi ke-3. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1994. 697 halaman

Oesterreichisches Institut für Baubiologie. **Sick Building Syndrom.** Laporan rapat: Baubiologischer Kongress, Gmunden 1992.

Otto, Konrad. **Oekologisches Bauen - Standort.** Dalam: Schwarz, Ullrich (ed.) *Grünes Bauen - Ansätze einer ökolgischen Architektur.* Rein-bek/Hamburg: rororo 4936, 1982. halaman 30

Palm, Hubert. **Das gesunde Haus.** edisi ke-7. Konstanz: Ordo Verlag, 1979. 678 halaman

Pearson, David. **Gaia Tec - Design for a living planet.** Paper for the International Svedala Symposium on Ecological Design. Budapest 1992.

Pearson, David. **The Natural House Book.** London: Gaia Books, 1994. 288 hlm.

Preisig, Hansruedi/Viridén, Karl. **Oekologische Aspekte des Bauens.** Zürich: SIA-Dokumentation D 0122, 1995. 146 halaman

Reed, Robert H. **Design for natural ventilation in hot humid weather.** Texas 1953.

Ronner, Heinz. **Kontext 78: Baustruktur.** edisi ke-2. Zürich: ETH, 1986. 106 hlm.

Rose, Wulf-Dietrich. **Schadstoffbelastung der Innenraumluft.** Dalam: *Schadstoffarmes Bauen.* Zürich: SIA-Dokumentation D 046, 1989. halaman 61

Rossbach, Sarah. **Desain Interior dengan Feng Shui.** Bandung: Abdi Widya, 1996. 201 halaman

Ruslan H. Prowiro. **Ekologi lingkungan pencemaran.** edisi ke-3. Semarang, 1983.

Rykwert, Joseph. **On Adam's House in Paradise. The Idea of the Primitive Hut in Architectural History.** New York: The Museum of Modern Art, 1972.

Salim, Emil. **Pembangunan berwawasan lingkungan.** Jakarta: LP3ES, 1986. 249 halaman

Sattler, Klaus/Emberger, Jürgen. **Behandlung fester Abfälle.** edisi ke-3. Würzburg: Vogel Verlag, 1992. 268 halaman

Schaltegger, S. (ed.) **Life Cycle Assessment (LCA) - Quo vadis?** Basel: Birkhäuser, 1996. 200 halaman

Schilling Rudolf. **Rückbau und Wiedergutmachung.** Basel: Birkhäuser, 1987. 189 halaman

Schmid, Peter. **Bio-logische Architektur.** edisi ke-2. Köln-Braunsfeld: Rudolf Müller, 1983. 135 halaman

Schmid, Peter. **Bio-logische Baukonstruktion.** Köln: Rudolf Müller, 1986. 129 hlm.

Schneider, Anton. **Fernlehrgang Baubiologie.** Neubeuren: Institut für Baubiologie + Oekologie, 1987.

Schneider, Rolf (ed.) **Natural Building.** (IL 27) Stuttgart: Institut für leichte Flächentragwerke, 1981. 310 halaman

Schwarz, Jutta. **Gesund leben - gesund wohnen.** Dalam: Majalah SI+A no. 46. Zürich 1988. halaman 1269

Schwarz, Jutta. **Oekologie im Bau**. Bern: Paul Haupt, 1991. 126 halaman

Schwarz, Ullrich (ed.) **Grünes Bauen - Ansätze einer Öko-Architektur.** Reinbek bei Hamburg: rororo 4936, 1982. 287 halaman

Soedjatmoko. **Teknologi, pembangunan dan kebudayaan.** Dalam: Mangunwijaya, Y.B. (ed.) *Teknologi dan Dampak Kebudayaan.* Jilid 1. Jakarta: Obor, 1985. halaman 51

Soegeng Reksodihardjo et al. **Arsitektur tradisional daerah Java Tengah.** Semarang: 1985. 250 halaman

Soemarwoto, Otto. **Ekologi, lingkungan hidup dan pembangunan.** edisi ke-5. Jakarta: Penerbit Djambatan, 1991. 374 halaman

Srikandi Fardiaz. **Polusi air & udara.** edisi ke-2. Yogyakarta: Kanisius, 1995. 190 halaman

Stahel, Hans Peter. **Baukunst und Gesundheit.** Aarau: AT Verlag, 1990. 228 hlm.

Steiger, Peter. **Bauen und Oekologie im Dialog.** Dalam: *Schadstoffarmes Bauen.* Zürich: SIA Dokumentation D 046, 1989. hlm. 10, 12, 13

Stewen, Raimund. **Biologisch Renovieren.** Köln: Rudolf Müller, 1987. 261 halaman

Strauch, Volker et al. (ed.) **Leitfaden zum ökologisch orientierten Bauen.** edisi ke-2. Karlsruhe: C.F. Müller, 1993. 86 halaman

Studer, Heinz. **Baustoffkunde, Bauphysik, Bauchemie.** Catatan kuliah untuk TS Hochbau. Basel, 1988.

Tirtha, Paul. **Bauen in feuchttropischen Ländern.** Tesis tidak diterbitkan. Mainz: Fachhoch-schule des Landes Rheinland-Pfalz, 1977. 135 halaman

Tomm, Arwed. **Oekologisch planen und bauen.** Braunschweig, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1992. 218 halaman

Trykowski, Michael. **Grundlagen für biologisches Bauen.** Karlsruhe: C.F. Müller, 1984. 171 halaman

Unesco. **Climate and school building design in Java.** Bangkok 1963.

Vale, Brenda dan Robert. **Green Architecture. Design for a sustainable future.** London: Thames and Hudson Ltd. 1996. 192 halaman

Verein ökologisches Bauen und Wohnen Hamburg. **Oekologisches Bauen.** Majalah aw 118. Stuttgart: Krämer, 1984.

Watt committee on Energy. **An assessment of energy resources.** Report No. 9. London 1980

Zwiener, Gerd. **Oekologisches Baustoff-Lexikon.** Heidelberg: C.F. Müller, 1994. 358 halaman

7.3 Daftar istilah penting